

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
**Departamento de Economía Aplicada I**



**TESIS DOCTORAL**

**El marco regulatorio para riesgo de mercado basado en modelos VaR  
de Basilea II: un análisis en el contexto de la crisis financiera del año  
2007**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Patricia Florina Stupariu**

Directores

**Pedro José Gómez Serrano**  
**David Trillo del Pozo**  
**Nuria Alonso Gallo**

**Madrid, 2018**

---

# **El marco regulatorio para riesgo de mercado basado en modelos VaR de Basilea II: un análisis en el contexto de la crisis financiera del año 2007**

---



Universidad Complutense de Madrid

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Departamento de Economía Aplicada I

Investigación presentada por

**Patricia Florina Stupariu**

Para la obtención del grado de Doctor

Dirección:

Pedro José Gómez Serrano

David Trillo del Pozo

Nuria Alonso Gallo

Madrid, 2016



A mis padres,  
Sorina y Sorin





## Índice

Agradecimientos.....	11
Resumen.....	13
Summary.....	15
Capítulo 1. Presentación y objetivos de la investigación .....	17
1.1 Introducción .....	17
1.2 Ámbito, objetivos y metodología de la investigación .....	19
1.2.1 Delimitación del objeto de estudio, objetivos y metodología .....	19
1.2.2 Metodología para determinar la adecuación del marco regulatorio.....	21
1.2.3 El riesgo de mercado en el amplio panorama de los riesgos financieros .....	23
1.2.4 Las mesas de negociación.....	32
1.2.5 Consideraciones preliminares sobre el método basado en modelos VaR .....	33
1.3 Contexto histórico: grandes transformaciones del sistema financiero .....	38
1.3.1 Fin del sistema monetario internacional basado en tipos de cambio fijos.....	39
1.3.2 Reformas de los mercados bursátiles.....	39
1.3.3 Aumento de las emisiones de bonos gubernamentales y corporativos .....	40
1.3.4 Creación de los mercados de derivados.....	41
1.3.5 Nacimiento del mercado LIBOR.....	43
1.3.6 Desregulación del sector financiero .....	44
1.3.7 Desarrollo de la ingeniería financiera.....	45
1.4 Crisis y regulación del riesgo de mercado: la enmienda de 1996 .....	46
1.5 Los modelos VaR en la regulación .....	50
1.6 Panorámica del capital regulatorio para riesgo de mercado en la composición del capital regulatorio total del sector bancario de la Unión Europea.....	51
Capítulo 2. Tratamiento regulatorio y tipología de modelos VaR.....	55

2.1 Introducción .....	55
2.2 El marco para la medición del riesgo .....	56
2.2.1 La cartera de negociación.....	56
2.2.2 Valoración de los instrumentos de la cartera de negociación .....	60
2.3 Tipología de modelos VaR y elección de los modelos empleados en los estudios empíricos de la tesis.....	71
2.3.1 Modelos VaR paramétricos .....	73
2.3.1.1 VaR normal incondicional .....	76
2.3.1.2 VaR normal condicional .....	77
2.3.1.3 Modelos para la estimación de la volatilidad .....	79
2.3.1.4 Teoría de los valores extremos.....	80
2.3.2 Métodos no paramétricos .....	82
2.3.2.1 Simulación Monte Carlo.....	82
2.3.2.2 Simulación histórica .....	84
2.3.3 Elección de los modelos VaR para los estudios empíricos .....	84
2.4 El método basado en modelos internos para riesgo de mercado .....	87
2.4.1 Estándares cualitativos .....	87
2.4.2 Estándares cuantitativos .....	88
2.5 Requerimientos de capital para riesgo específico para los instrumentos clasificados en la cartera de negociación .....	90
2.6 La enmienda para riesgo de mercado a la regla neta de capital de EEUU: .....	95
2.6.1 Factor de multiplicación .....	96
2.6.2 Riesgo específico .....	97
2.6.3 Requerimientos de capital para la matriz .....	97
Capítulo 3. Modelos VaR para instrumentos de capital.....	99

3.1 Introducción .....	99
3.2 Modelo VaR para instrumentos de capital.....	101
3.3 Modelo VaR de una cartera formada por instrumentos de capital emitidos por varias empresas .....	104
3.4 Pruebas de contraste ( <i>backtesting</i> ) de los modelos VaR.....	106
3.5 Modelos VaR con volatilidad condicional estimada con una media móvil ponderada exponencialmente.....	109
3.5.1 VaR EWMA individuales al 95%.....	110
3.5.2 VaR EWMA individuales al 99%.....	114
3.5.3 VaR EWMA para la cartera .....	116
3.5.4 Capital regulatorio para la cartera en base a los modelos VaR EWMA .....	118
3.6 Modelos GARCH: metodología y resultados .....	119
3.6.1 VaR GARCH individuales al 99% .....	122
3.6.2 VaR GARCH de la cartera .....	125
3.6.3 Capital regulatorio para la cartera en base a los modelos VaR GARCH .....	128
3.7 Conclusiones.....	129
Capítulo 4. Modelos VaR para bonos .....	131
4.1 Introducción .....	131
4.2 Modelo VaR paramétrico para bonos .....	132
4.3 Cálculo de la variación de la cartera en función del tipo de interés y la duración .....	136
4.4 Modelos VaR con volatilidad condicional estimada con un modelo EWMA .....	137
4.4.1 VaR EWMA de los bonos del tesoro .....	138
4.4.2 VaR EWMA de los bonos corporativos.....	145
4.4.3 Capital regulatorio en base al VaR EWMA .....	149
4.5 Modelos VaR con volatilidad condicional estimada con modelos GARCH (1,1) .....	152

4.5.1 VaR GARCH de los bonos del Tesoro a 10 años.....	153
4.5.3 VaR GARCH de los bonos corporativos.....	157
4.5.4 Capital regulatorio en base al VaR GARCH para las carteras de bonos .....	162
4.6 Conclusiones.....	163
Capítulo 5. VaR de bonos con riesgo de cambio .....	165
5.1 Modelo VaR para bonos incorporando el riesgo derivado de la variación del tipo de cambio .....	165
5.2 Cálculo de la variación de la cartera de bonos considerando la variación del tipo de interés .....	167
5.3 VaR tipo de cambio .....	169
5.3.1 VaR EWMA de tipo de cambio .....	169
5.3.2 Capital regulatorio en base al VaR EWMA .....	174
5.3.3 VaR GARCH de tipo de cambio .....	174
5.3.4 Capital regulatorio en base al VaR GARCH .....	178
5.4 VaR de las carteras incorporando tipos de cambio.....	179
5.4.1 VaR EWMA de los bonos del tesoro en euros .....	179
5.4.2 VaR EWMA de los bonos corporativos en euros .....	183
5.4.3 Capital regulatorio en base al VaR EWMA .....	186
5.4.4 VaR GARCH de los bonos del tesoro en euros.....	188
5.4.5 VaR GARCH de los bonos corporativos en euros .....	191
5.4.6 Capital regulatorio en base al VaR GARCH .....	195
5.5 Conclusiones.....	196
Capítulo 6. Valor en riesgo de un producto estructurado vinculado al índice bursátil Eurostoxx 50 .....	197
6.1 Introducción .....	197

6.2 Identificación de los instrumentos que replican la función de pago en el vencimiento del producto estructurado .....	199
6.2.1 Modelos de valor razonable para los instrumentos derivados implícitos .....	208
6.2.2 Precio de las opciones incorporando el riesgo de contraparte (CVA) .....	210
6.2.3 Cálculo del valor razonable de la nota estructurada sin ajuste para riesgo de contraparte .....	213
6.2.4 Cálculo del valor razonable de la nota estructurada con ajuste por riesgo de contraparte .....	215
6.3 Modelos de riesgo para la nota estructurada .....	217
6.3.1 VaR delta-gamma de las opciones.....	219
6.3.2 VaR de la nota sin incorporar el ajuste por riesgo de contraparte .....	221
6.3.4 Capital mínimo regulatorio de la nota estructurada en base al valor razonable de la nota que no contempla el ajuste por riesgo de contraparte .....	226
6.3.5 VaR de la nota incorporando el ajuste por riesgo de contraparte.....	227
6.3.6 Capital mínimo regulatorio de la nota estructurada en base al valor razonable de la nota que incorpora el ajuste por riesgo de contraparte, considerando un coeficiente de correlación entre el spread y el subyacente igual a 1 .....	230
6.4 Conclusiones.....	231
Capítulo 7. Más allá del riesgo de mercado .....	233
7.1 Introducción .....	233
7.2 Pérdidas en las carteras de negociación a raíz de la crisis .....	236
7.3 Reformas de la regulación a raíz de la crisis financiera del año 2007.....	242
7.3.1 Un nuevo marco para el riesgo de mercado .....	242
7.3.2 Riesgo de contraparte .....	245
7.3.2.1 Conceptos básicos del riesgo de contraparte.....	248
7.3.2.2 Métricas de la exposición .....	250

7.3.2.3 Lehman Brothers: riesgo de contraparte y riesgo sistémico en la crisis financiera .....	254
7.3.3 Centrales de contraparte y exigencias de garantías para operaciones OTC .....	257
7.4 Problemas sin solución .....	260
Capítulo 8. Conclusiones .....	263
8.1 Adecuación de los modelos VaR .....	263
8.2 Consideraciones finales .....	268
ANEXOS.....	275
Anexo 1. Precios diarios de las acciones .....	275
Anexo 2. Rentabilidades diarias .....	277
Anexo 3. Regla para agregar volatilidades .....	279
Anexo 4. Rentabilidades. Principales estadísticos.....	280
Anexo 5. Capital mínimo regulatorio en base al VaR EWMA. 2000-2014.....	282
Anexo 6. Resultados de las estimaciones de los modelos GARCH .....	286
Anexo 7. Capital mínimo regulatorio en base al VaR GARCH. 2000-2006 .....	287
Anexo 8. Capital mínimo regulatorio en base al VaR GARCH. 2007-2014 .....	291
Anexo 9. Cálculo de la duración de un bono .....	295
Anexo 10. Cálculo de la variación diaria y a 10 días del precio de los bonos del Tesoro utilizando la sensibilidad .....	297
Anexo 11. Cálculo de la variación diaria y a 10 días del precio de los bonos corporativos utilizando la sensibilidad .....	298
Anexo 12. Evolución tipos de interés .....	299
Anexo 13. Gráficos y principales estadísticos de las primeras diferencias de los tipos de interés de los bonos analizados.....	300
Anexo 14. Coeficientes estimados con modelos GARCH (1,1) para calcular la volatilidad condicional de las primeras diferencias de los tipos de interés de los bonos .....	302

Anexo 15. Gráficos de las volatilidades condicionales de las primeras diferencias de los tipos de interés de los bonos del Tesoro y corporativos.....	305
Anexo 16. Variación a 10 días de los tipos de interés de los bonos corporativos .....	307
Anexo 17. Excesos en muestras de 250 observaciones .....	308
Anexo 18. Evolución del tipo de cambio EUR/USD 2000 – 2014 .....	310
Anexo 19. Gráfico y principales estadísticos de la variación relativa del tipo de cambio EUR/USD .....	311
Anexo 20. Coeficientes estimados con modelos GARCH (1,1) para calcular la volatilidad condicional de la variación relativa del tipo de cambio EUR/USD .....	312
Anexo 21. Gráficos de las volatilidades EWMA y GARCH de la variación relativa del tipo de cambio .....	314
Anexo 22. Frecuencia excesos y contraste Kupiec para el VaR del tipo de cambio EUR/USD 2000-2014.....	315
Anexo 23. Coeficiente de correlación entre las primeras diferencias de los tipos de interés bonos Tesoro y la variación relativa del tipo de cambio .....	316
Anexo 24. Frecuencias excesos y contraste Kupiec VaR Bonos Tesoro con precio en EUR 2000-2014.....	318
Anexo 25. Frecuencias excesos y contraste Kupiec VaR Bonos corporativos con precio en EUR 2000-2014 .....	319
Anexo 26. Volatilidades EWMA y GARCH tipos de interés de los bonos del Tesoro y corporativos.....	320
Anexo 27. Contrato del producto estructurado analizado.....	321
Anexo 28. Volatilidad anualizada índice Eurostoxx 50 estimada para el cálculo del valor razonable de la nota estructurada .....	323
Anexo 29. Valor razonable de la nota estructurada y valor del índice Eurostoxx 50 .....	324
Anexo 30. VaR y variación a 10días del índice Eurostoxx 50.....	324



Anexo 31. Capital mínimo regulatorio (CMR) y variación a 10 días del índice Eurostoxx 50 .....	325
Anexo 32. VaR del <i>spread</i> del CDS de Lehman Brothers.....	326
Anexo 33. Detalles sobre algunos de los instrumentos del Gráfico 1 sobre las pérdidas en las carteras de negociación .....	327
Anexo 34. Riesgos de un <i>credit default swap</i> .....	330
Bibliografía.....	333

## **Agradecimientos**

Mi madre, Sorina, me ha motivado con sus palabras y ejemplo a lo largo de los últimos cuatro años en los que se ha gestado esta tesis doctoral y en innumerables otras ocasiones y ha sido un apoyo fuerte e incondicional a lo largo de mi vida. Mi padre, Sorin, ha estado a mi lado de muchas maneras, animándome y siempre dispuesto a echarme una mano y resolver cualquier problema en la que le necesitase. Siempre les estaré muy agradecida, igual que a otros miembros de mi familia que, aunque lejos físicamente, han estado conmigo de una manera u otra a lo largo de los últimos años.

Ángel Vilariño ha sido fundamental en el aprendizaje que ha supuesto para mí realizar este trabajo de investigación y en adquirir un marco conceptual para pensar en los temas que han sido objeto de la tesis y en muchos otros ámbitos de la vida. Sin su ayuda esta tesis no hubiera sido posible. Sus enseñanzas han marcado un antes y un después en mi manera de pensar y trabajar y le agradezco por todo su apoyo.

En el día a día del proceso que ha sido elaborar esta tesis, me han acompañado y apoyado Juan y Oana, con quienes he compartido la mayor parte de mi tiempo, estudiando, aprendiendo, superando los momentos más complicados de esta etapa y disfrutando de los mejores. Su amistad, las reuniones, seminarios, reflexiones y muchísimos proyectos compartidos me han enriquecido personal e intelectualmente. Junto con Pablo hemos formado un gran equipo de investigación y les agradezco todo su apoyo.

Les quería agradecer también a mis directores Pedro José, David y Nuria, por su apoyo académico, personal e institucional, en todas las etapas de la tesis.

Las amistades que conservo desde la infancia y los compañeros y compañeras que se han convertido en amigos a lo largo de los últimos años, también forman parte de este proceso, especialmente Bogdan y George, Mariu, Manu, Lucía, Leandro, Davide y Carlos. Habiendo compartido conmigo sus ideas y su experiencia me han permitido reflexionar sobre diversas realidades económicas y me han aportado muchos conocimientos de sus campos de trabajo y estudio.



## Resumen

### **El marco regulatorio para riesgo de mercado basado en modelos VaR de Basilea II: un análisis en el contexto de la crisis financiera del año 2007**

El objeto de estudio de la presente investigación es el método basado en modelos VaR para calcular los requerimientos de capital para riesgo de mercado de Basilea II, la regulación financiera emitida por el Comité de Basilea de Supervisión Bancaria y vigente en numerosos países en el momento del estallido de la crisis financiera del año 2007.

En las últimas dos décadas los modelos VaR (*value at risk*) se han impuesto como el estándar en la medición del riesgo de mercado en bancos comerciales, bancos de inversión y otros intermediarios financieros, empresas de seguros o tesorerías de las grandes empresas de otros sectores de la economía. El método basado en modelos VaR para calcular el capital regulatorio fue incluido en la regulación de Basilea en 1996. Después de la crisis del año 2007, la idoneidad de los modelos VaR fue ampliamente cuestionada y el Comité de Basilea apunta a las debilidades de estos modelos como una de las principales causas de la insuficiente capitalización de los bancos con respecto a sus actividades de negociación en la crisis. En las reformas acometidas en la regulación del riesgo de mercado, que se finalizaron a principios del año 2016, los modelos VaR han sido reemplazados por otra métrica, el *expected shortfall*.

En este contexto, la presente investigación se propone como objetivos determinar el grado de adecuación de los modelos VaR para el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado, según las normas comprendidas en el primer pilar de Basilea II. A la vez se pretende evaluar si un factor determinante de la crisis fue la falta de adecuación de los modelos VaR o si fueron otros los factores relevantes en el ámbito de las carteras de negociación que contribuyeron a que los bancos registraran grandes pérdidas a raíz de la crisis en dichas carteras

Los resultados obtenidos muestran que los modelos VaR funcionan satisfactoriamente como base para el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado, tal y como estaba planteado este proceso en Basilea II. Los estudios empíricos desarrollados en la investigación muestran que el capital regulatorio calculado en base a varios tipos de modelos VaR es superior en todo momento a las pérdidas debidas al riesgo de mercado derivado de la

variación de los precios de varios instrumentos de capital, tipos de interés de la deuda pública y corporativa, tipos de cambio o índices bursátiles.

Las debilidades en el ámbito de las carteras de negociación no se deben a los fallos de los modelos VaR, sino que son otros los elementos que han contribuido a las pérdidas en la crisis. La gran mayoría de las carteras de negociación de los bancos está compuesta por instrumentos sin liquidez y que generan exposición al riesgo de crédito o contraparte. La materialización de estos otros riesgos puede provocar pérdidas superiores a las que se derivan de la variación diaria de los precios de mercado de los instrumentos financieros líquidos. A su vez, la gestión de los mismos queda fuera del ámbito de aplicación de los modelos VaR. Son éste tipo de instrumentos los que han registrado las mayores pérdidas a raíz del estallido de la crisis financiera en el año 2007.

## Summary

### **The Internal Models Approach for Calculating Capital Requirements for Market Risk in Basel II: An Analysis in the Context of the 2007 Financial Crisis**

This thesis analyses the VaR (value at risk) based approach for calculating capital requirements for market risk in Basel II, the international financial regulation issued by the Basel Committee of Banking Supervision before the onset of the 2007 financial crisis.

In the past two decades VaR models have become widely used by banks and other financial institutions in managing market risk. The Basel Committee has also been using VaR in setting market risk capital requirements for banks since 1996. After the 2007 financial crash, the adequacy of VaR has been intensely debated by regulators and academics and in the new market risk internal models approach issued by the Basel Committee at the beginning of 2016, VaR models were replaced with an alternative risk measure, Expected Shortfall.

The aim of this research is to evaluate the adequacy of VaR models with respect to calculating capital requirements for market risk according to the Basel II framework. Another topic that the research aims to explore is whether the shortcomings of VaR contributed to bringing about the financial crisis and also if there were other elements related to banks' trading books that played a part in generating the financial debacle.

The results supported by the empirical part of this research show that VaR models are an adequate starting point for setting minimum capital requirements for market risk. Various VaR models have been used to calculate VaR based minimum capital requirements using the Basel II internal models approach for the market risk stemming from the variation of stock prices, stock market indices, interest rates and currency exchange rates. The VaR based capital requirements are higher than the losses in the analysed portfolios in a large sample spanning from 2000 to 2014.

The weaknesses detected in banks' trading books that led to massive losses during the crisis are not the result of the inadequacy of VaR models. Most of banks' trading books are illiquid instruments exposed to credit and counterparty risk. The materialization of these risks can cause losses above those originated by the daily variation of the price of liquid financial

instruments and the management of these risks falls beyond the scope of VaR models. It is these types of risks embodied in specific financial instruments that have caused the highest losses in banks' trading books during the 2007 financial crisis.

# Capítulo 1. Presentación y objetivos de la investigación

## 1.1 Introducción

Después del estallido de la crisis financiera del año 2007 no han faltado los debates acerca de la idoneidad de la regulación financiera existente, los fallos de la misma y las posibilidades de reforma para evitar futuras crisis. El Comité de Basilea de Supervisión Bancaria (CBSB) es el organismo internacional que agrupa a autoridades reguladoras de todo el mundo y del que emanan las normas de regulación financiera que se adoptan tanto en los países miembros del Comité, como en numerosos países que no pertenecen a este organismo (CBSB 2016a). El grado de cumplimiento de las normas de Basilea constituye un estándar con el que se examina a los bancos y a los países por parte de organismos internacionales, agencias de calificación, inversores y acreedores (FMI 2005; FMI 2015).

El tema de la presente investigación se centra en las normas referentes al riesgo de mercado, emitidas por el Comité de Basilea en 1996 y que, posteriormente, fueron incorporadas al marco regulatorio conocido como Basilea II. Concretamente, la tesis analiza el método basado en modelos internos para calcular los requerimientos de capital para riesgo de mercado. En el ámbito de la regulación del riesgo de mercado gran parte del fracaso de la regulación se ha achacado a la inadecuación de los modelos matemáticos que los bancos podían emplear para calcular los requerimientos mínimos de capital, conocidos como modelos VaR, acrónimo del inglés *value at risk* o, en castellano, valor en riesgo. La regulación permitía que los modelos VaR se emplearan para el cálculo del capital regulatorio si los bancos cumplían una serie de requisitos estipulados en las normas y recibían la autorización de los supervisores nacionales. Después de la crisis desaparece también el apoyo que el Comité de Basilea había ofrecido al método basado en modelos internos desde su introducción en las normas hace dos décadas: en las publicaciones posteriores a la crisis, este organismo apunta a las debilidades de estos modelos como una de las principales causas de la insuficiente capitalización de los bancos con respecto a sus actividades de negociación (CBSB 2012).



La presente investigación aporta una visión novedosa sobre la idoneidad de los modelos VaR en la medida en la que analiza el funcionamiento de estos modelos en relación con las normas de Basilea II para calcular el capital regulatorio para las carteras de negociación de los bancos. Asimismo, analiza conjuntamente los riesgos existentes en las carteras de negociación, entre los cuales el riesgo de mercado, y el tratamiento que recibían dichos riesgos en las normas de Basilea II. A la vez, ofrece una visión esclarecedora sobre las pérdidas que las entidades financieras pueden registrar por la materialización de los riesgos de la cartera de negociación, la relación de estos riesgos con las pérdidas registradas por los bancos en dichas carteras en la crisis y la medida en la que el empleo de los modelos VaR, según está previsto en las normas, puede ser considerado uno de los elementos que contribuyó a que se registraran dichas pérdidas.

La relevancia y actualidad de los temas tratados en la investigación reside en su vinculación con la gestión de los riesgos que soportan las entidades financieras y cuya materialización es una potencial fuente de crisis a nivel global. A su vez, son temas relevantes por su relación con el diseño del marco regulatorio actual, cuyo objetivo declarado es asegurar la solvencia y viabilidad de los bancos a nivel internacional y evitar la ocurrencia de crisis financieras.

En el presente capítulo se acota el ámbito de la investigación y se detallan los objetivos y la metodología de la misma. A la vez, se encuadran los temas analizados en el contexto histórico de las últimas cuatro décadas, caracterizadas por grandes transformaciones en el sistema financiero internacional, que propiciaron nuevas oportunidades de negocio para los bancos y también dieron paso a la exposición de los mismos a nuevos riesgos. Al calor de estas transformaciones se desarrollan las normas regulatorias que rigen el cálculo de los requerimientos de capital para las operaciones de negociación que los bancos llevan a cabo en los mercados financieros y que estaban vigentes a nivel internacional en el año 2007.

## **1.2 Ámbito, objetivos y metodología de la investigación**

### **1.2.1 Delimitación del objeto de estudio, objetivos y metodología**

La regulación de Basilea tiene como eje central el cálculo del capital mínimo regulatorio que los bancos deben mantener en todo momento y que, conforme a los planteamientos del Comité de Basilea, permitirían hacer frente a las pérdidas que pueden acarrear los contextos de crisis. Los requerimientos mínimos de capital para riesgo de mercado, junto con el capital exigido para riesgo de crédito, contraparte y operacional componen el capital mínimo regulatorio total exigido a los bancos en el marco de Basilea II, que se fija en un mínimo de 8% de los activos ponderados por cada categoría de riesgo. Las entidades sujetas a los requerimientos de Basilea son los bancos, sociedades de valores u otras entidades financieras que son parte de grupos bancarios, y se aplican en base al consolidado del grupo (CBSB 2006c, sec. Primera).

En el marco regulatorio para riesgo de mercado de la regulación de Basilea II, existían dos métodos alternativos para realizar el cálculo del capital regulatorio: un método denominado “estándar” y el método basado en modelos internos de tipo VaR. El método estándar no forma parte del objeto de análisis<sup>1</sup> y nuestra investigación está delimitada por el método basado en modelos internos, una alternativa pensada principalmente para los bancos con presencia internacional e importante actividad de negociación. Las normas analizadas son las que se recogen en el documento publicado en junio de 2006, que comprende todas las modificaciones de Basilea II hasta dicha fecha (CBSB 2006c). Las referencias al marco regulatorio en los siguientes capítulos se referirán a dicho documento si no se especifica otra referencia.

No están comprendidas en el ámbito de la investigación el análisis de las normas desarrolladas para riesgo de crédito, contraparte y operacional, las otras categorías de riesgo

---

<sup>1</sup> El método estándar consiste en un sistema de ponderaciones diseñado por el Comité, que se aplican a las posiciones que los bancos mantienen en los instrumentos financieros que se consideran objeto de los requerimientos de capital. El método estándar es propio de los bancos en los que el riesgo de mercado no es muy importante debido a que los volúmenes de transacciones son reducidos en comparación con el resto de las actividades crediticias. Este método, aunque más rígido y menos preciso, compensa por su relativa sencillez de implementación cuando el volumen de negociación es muy pequeño.

comprendidas para que se exigía capital en las normas de Basilea II. Se tratan aspectos relacionados con el riesgo de crédito y liquidez en la medida en la que afectan a los instrumentos de la cartera de negociación, pero no se analizan los métodos de cálculo del capital mínimo regulatorio para estas categorías de riesgo para los instrumentos que no estaban asignados a la cartera de negociación<sup>2</sup>.

En las últimas dos décadas los modelos VaR se han impuesto como el estándar en la medición del riesgo de mercado en bancos comerciales, bancos de inversión y otros intermediarios financieros, empresas de seguros o tesorerías de las grandes empresas de otros sectores de la economía (Hull 2012, 195; Manganelli y Engle 2011). Sin embargo, después de la crisis, los modelos VaR han sido el blanco de numerosas críticas<sup>3</sup> y en la reforma del riesgo de mercado acometida en los años posteriores a las turbulencias del año 2007, estos modelos se eliminan del método basado en modelos internos y son reemplazados por una nueva metodología, el *expected shortfall* (CBSB 2016b). En la primera propuesta de reforma del marco regulatorio para riesgo de mercado, el Comité indica que las pérdidas sufridas por los bancos en sus carteras de negociación fueron superiores al capital mantenido para estas carteras y uno de los factores que llevó a esta situación fue la inadecuación de los modelos VaR (CBSB 2012).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivos:

- determinar el grado de adecuación de los modelos VaR para el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado, según las normas comprendidas en el primer pilar de Basilea II
- evaluar si un factor determinante de la crisis fue la falta de adecuación de los modelos VaR o,

---

<sup>2</sup> A efectos regulatorios, las carteras de negociación comprenden todos los instrumentos en los que los bancos tienen posiciones largas o cortas, con el objetivo de realizar beneficios por los movimientos de los precios de estos instrumentos en los mercados financieros. El riesgo de mercado se identifica generalmente con los instrumentos clasificados en las carteras de negociación, pero el riesgo de mercado no es el único tipo de riesgo que afecta al valor de dichos instrumentos. El apartado 1.2.3 ofrece una panorámica de las principales categorías de riesgo a los que está expuesta una entidad financiera, incluido el riesgo de mercado. En el Capítulo 2 se trata con más detalle este tema con respecto a los instrumentos de las carteras de negociación.

<sup>3</sup> Para más detalles acerca de las críticas recogidas por el Comité de Basilea véase CBSB (2011a; 2012). Para otros enfoques críticos con el VaR véase Lordon (2009, cap. 5), Taleb (2010), Triana (2011), Turner (2009, sec. 1.4; Turner 2015).

- si fueron otros los factores relevantes en el ámbito de las carteras de negociación que contribuyeron a que los bancos registraran grandes pérdidas a raíz de la crisis en dichas carteras

### **1.2.2 Metodología para determinar la adecuación del marco regulatorio**

Para cumplir con los objetivos planteados se han seguido las etapas que se sintetizan a continuación y que serán desarrollados en los capítulos correspondientes:

- Análisis de las características del marco regulatorio que concierne el cálculo de los requerimientos mínimos de capital para riesgo de mercado

Un primer paso en la investigación ha sido analizar las normas de Basilea II para calcular el capital mínimo regulatorio para riesgo de mercado en base a los modelos VaR y los requisitos que tenían que cumplir los bancos para recibir la autorización de los supervisores para emplear sus modelos VaR para este propósito. Dichos requisitos se refieren a los instrumentos susceptibles de entrar en la composición de la cartera de negociación, la manera en la que se debe llevar a cabo la valoración de los mismos, aspectos relacionados con la gestión de la cartera en base a los resultados proporcionados por los modelos y la manera en la que se deben calcular los requerimientos de capital para los instrumentos clasificados en la misma (Capítulo 2).

Las normas financieras que regulan el uso de los modelos internos para riesgo de mercado dejan la elección del modelo a la competencia de cada banco. Debido a que los modelos VaR son un conjunto de diversos métodos estadísticos y econométricos, en el Capítulo 2 se incorpora también una síntesis sobre las características de las principales categorías de modelos VaR, incluidos los métodos aplicados en los estudios empíricos de la tesis<sup>4</sup>.

- Estimación de varios modelos VaR y cálculo del capital regulatorio en base a las estimaciones

---

<sup>4</sup> Después de presentar las principales metodologías para estimar el VaR en los apartados 2.3.1 y 2.3.2, el apartado 2.3.3 trata de la elección de los modelos empleados en los estudios empíricos.

Los capítulos 3-6 comprenden cuatro estudios empíricos donde se aplican varias metodologías VaR para estimar las pérdidas futuras de distintos instrumentos financieros y calcular el capital regulatorio que los bancos deberían mantener, según el método basado en modelos internos de Basilea II, si dichos instrumentos estuvieran clasificados en la cartera de negociación. En cada capítulo se detallan las técnicas empleadas en la estimación del VaR de cada tipo de instrumento. En cada caso, se realiza una comparación entre las pérdidas reales de los instrumentos analizados y las pérdidas estimadas con los modelos VaR y también entre las pérdidas reales y el capital mínimo regulatorio calculado en base a los modelos entre los años 2000 y 2014. Los instrumentos analizados son instrumentos de capital (acciones) y títulos de deuda (bonos públicos y corporativos, bonos expuestos al riesgo de tipo de cambio) y un producto estructurado sobre el índice bursátil Eurostoxx 50.

Se evalúa la adecuación de los modelos VaR en cuanto a su precisión en la estimación de las pérdidas potenciales debidas a la materialización del riesgo de mercado y, por tato, su utilidad como herramientas para calcular los requerimientos mínimos de capital partiendo de dichas estimaciones.

Los requerimientos mínimos de capital regulatorio se deben cumplir a diario. Sin embargo, el capital de un banco (el capital social o incluyendo también el resto de los instrumentos que forman parte del capital regulatorio) no es susceptible de variar según varía el valor de los instrumentos negociados en los mercados. Por tanto, las estimaciones de las pérdidas potenciales deben emplearse para poner límites a las posiciones de negociación y asegurar la exposición a un determinado nivel de riesgo, en función con el capital existente. En este sentido, la liquidez de las posiciones y las posibilidades de contraer las coberturas adecuadas son elementos fundamentales para gestionar activamente la cartera de negociación en base a los modelos VaR.

- Análisis de los instrumentos susceptible de estar clasificados en la cartera de negociación e identificación de otras fuentes de potenciales pérdidas, adicionales al riesgo de mercado

Los instrumentos clasificados en las carteras de negociación generan, como se detalla en los capítulos posteriores, exposición al riesgo de mercado, crédito, contraparte y liquidez. Este

tema tiene mucha trascendencia para los resultados obtenidos y es tratado en varios capítulos de la tesis. En el Capítulo 2 se analizan las exigencias previstas en la regulación de Basilea II para calcular el capital regulatorio para los instrumentos expuestos a estas categorías de riesgo y clasificados en la cartera de negociación. El capítulo 6 recoge la valoración y el diseño del modelo de riesgo para un instrumento expuesto al riesgo de mercado, riesgo de crédito y riesgo de liquidez y en el Capítulo 7 se analizan las implicaciones de la existencia de estos instrumentos en la cartera de negociación y su relación con las pérdidas que los bancos registraron en la crisis.

- Presentación de los principales resultados y conclusiones de la investigación

El capítulo 8 recoge las conclusiones de la investigación acerca de la idoneidad de los modelos VaR y del método basado en modelos internos comprendido en Basilea II, obtenidas en base al análisis conjunto del marco regulatorio para riesgo de mercado, el funcionamiento de los modelos empleados en los estudios empíricos, el cálculo del capital regulatorio según las normas y el análisis de elementos adicionales de las carteras de negociación (composición, valoración y riesgos implícitos en los instrumentos de la cartera de negociación). Todos estos elementos permiten reflexionar, en la parte final del trabajo, sobre los límites, el grado de utilidad y la adecuación del método basado en modelos VaR de Basilea II y sobre las reformas acometidas posteriormente, en un contexto marcado por los acontecimientos desencadenados por la crisis financiera del año 2007.

### **1.2.3 El riesgo de mercado en el amplio panorama de los riesgos financieros**

Todos los agentes de una economía están expuestos a riesgos de distinta naturaleza que pueden causar daños y perjuicios materiales si llegan a materializarse. En una primera aproximación, el riesgo puede ser definido como la posibilidad de sufrir una pérdida por acontecimientos futuros en el transcurso de las actividades que llevan a cabo los agentes de una economía, entre los cuales se cuentan los bancos comerciales o de inversión, pero también otras entidades financieras y empresas no financieras, entidades públicas u hogares.

Hay algunos riesgos más propios de los bancos, los denominados riesgos financieros, pero las empresas no financieras también pueden verse expuestas a los mismos. El riesgo de crédito o el riesgo de mercado son unos de estos casos, que se pueden materializar en las relaciones de las empresas con los clientes que pagan a plazo (tanto otras empresas como clientes finales) o a través de la contratación de instrumentos derivados de cobertura que se deben valorar a precio de mercado<sup>5</sup>.

En la actividad bancaria, la gestión del riesgo es muy relevante en general, trátase del riesgo de crédito, contraparte, interés, liquidez, mercado, riesgos operacionales o de reputación, para nombrar las principales categorías de riesgos financieros. Una gestión inadecuada de los riesgos puede llevar a la quiebra de una entidad y en el caso del sector bancario, una quiebra individual tiene el potencial de generar una crisis sistémica. Todas las actividades de los bancos entrañan riesgos determinados por la estructura de sus balances, sus actuaciones en las relaciones con sus clientes y acreedores y su inserción en un contexto macroeconómico determinado. La identificación de los riesgos a los que está expuesta la entidad requiere una dedicación continua, dado que aparte de los factores de riesgo existentes en un determinado momento pueden aparecer otros nuevos, fruto de cambios en la situación macroeconómica y en los mercados financieros (por la aparición de nuevos productos, por cambios en el comportamiento de los clientes u competidores, etc.).

A continuación, la Tabla 1.1 muestra una estructura simplificada del balance de una entidad financiera que permite situar el lugar de la cartera de negociación dentro del balance y dar una primera panorámica de los principales riesgos a los que está expuesta una entidad financiera, los instrumentos en los que dichos riesgos se concretan y las relaciones que a través de estos instrumentos se establecen entre los balances de los bancos y el resto de la economía. La delimitación de cada categoría de riesgo depende de los eventos inmediatos que pueden hacer que se materialicen las pérdidas y, generalmente, cada riesgo se puede

---

<sup>5</sup> Un ejemplo de pérdidas registradas en numerosas empresas constructoras españolas en los instrumentos derivados, swaps de tipos de interés, contratados como cobertura para los préstamos contraídos a tipo de interés variables. El valor de los swaps cayó ante la disminución de los tipos de interés de referencia (Euribor) que siguieron al descenso de los tipos de política monetaria del BCE, generando grandes pérdidas y, en algunos casos, quiebras que llevaron a un cambio de la regulación contable vigente, para permitir que dichas empresas no contabilizaran los derivados a valor razonable.

identificar con uno o varios instrumentos financieros. Las metodologías de identificación y medición de cada tipo de riesgo quedan fuera del ámbito de la presente investigación, pero es relevantes situar el riesgo de mercado dentro de una visión global sobre los riesgos financieros y visibilizar las posibles relaciones entre las distintas categorías de riesgo y la amplitud de los de campos de la gestión y también de la supervisión de los bancos.

Tabla 1.1 Balance simplificado de un banco

Activos	Pasivos
Cartera de negociación: acciones, bonos, divisas, derivados, productos estructurados Acciones* y otras participaciones** Bonos del gobierno y privados* Préstamos a otros bancos Depósitos en el banco central Crédito: hipotecario, consumo, empresas entidades públicas Derivados de cobertura Efectivo Activos fijos	Capital social Reservas Cartera de negociación (posiciones cortas): acciones, bonos, divisas, derivados, productos estructurados Títulos emitidos Depósitos de clientes Préstamos bancarios Préstamos del banco central Derivados de cobertura

\* Posiciones permanentes

\*\*Participaciones en *hedge funds* y *private equity*

- Riesgo de crédito

Las pérdidas por riesgo de crédito son las más relevantes en la mayoría de los bancos y tienen su origen en el incumplimiento de las obligaciones contractuales de los acreditados del banco, sean éstos receptores de préstamos o emisores de títulos de deuda adquiridos por el banco. Los prestatarios pueden ser personas físicas, empresas no financieras, otras entidades financieras o entes públicos. Los activos que soportan riesgo de crédito representan un porcentaje muy grande del total de los activos de los bancos comerciales y cada categoría de préstamos refleja la exposición que existe en los bancos a la posibilidad de que empresas, consumidores o gobiernos no tengan la capacidad de generar los ingresos necesarios para



pagar los intereses y devolver la totalidad o partes de los préstamos contraídos. Además, ante un evento de crédito o la amenaza de un incumplimiento, se pueden materializar otros riesgos como el de mercado, por ejemplo, a través de la caída en el precio de las acciones y de los bonos de una empresa que incumple parte de sus obligaciones o que se espera que va a incumplir (Bluhm, Overbeck, y Wagner 2010; Gordy 2003; Merton 1974).

- Riesgo de contraparte.

Está relacionado con el posible impago de los flujos de efectivo contingentes o entregas de activos, que las contrapartes deben realizar periódicamente, o en el vencimiento en las operaciones con derivados. Este riesgo es especialmente relevante en las operaciones que se realizan fuera de los mercados organizados (bolsas de derivados). Con diferencia a las bolsas, en los mercados bilaterales u OTC (acrónimo del término inglés *over the counter*) no necesariamente existen cámaras de compensación o exigencias de garantías diarias en función de las variaciones en el valor de los derivados (Brigo, Morini, y Pallavicini 2013; Gregory 2012; Pykhtin 2009).

- Riesgo de interés

De las diferencias entre los tipos de interés que los bancos deben pagar para remunerar sus pasivos y los tipos que cobran por los activos surge el riesgo de interés del balance, que se refiere a la posibilidad de que, ante movimientos desfavorables de los tipos de interés de activo o pasivo, haya un deterioro del margen financiero con respecto al valor esperado. En estas dinámicas intervienen conjuntamente las fuentes de financiación de los bancos, que determinan los tipos de interés de los pasivos, y la naturaleza de las inversiones realizadas con dicha financiación y la remuneración de las mismas.

Los costes de financiación están relacionados con los tipos de interés de los préstamos concedidos por otros bancos, los tipos de las emisiones de bonos o de los depósitos. En estos tipos influyen tanto el contexto económico general, y los tipos de interés de la política monetaria, como las expectativas sobre la solvencia de un banco que realizan las entidades que están en condiciones de ofrecer dicha financiación, a través de las primas de riesgo asignadas a la entidad, o las políticas de captación de depósitos.

Los flujos generados por los activos dependen también de los tipos de los préstamos concedidos, la rentabilidad de los activos emitidos por otras entidades y adquiridos para ser mantenidos a medio o largo plazo, etc. La caída de los márgenes puede producirse por movimientos adversos en los tipos de interés, que pueden a su vez estar generados por movimientos de la política monetaria, y el impacto de ésta en otros tipos de referencia de los mercados financieros (Augros y Queruel 2000; Quittard-Pinon y Rolando 2000).

- Riesgo de liquidez

El riesgo de liquidez se materializa ante la imposibilidad de encontrar financiación, o no encontrarla con un coste razonable, para hacer frente a los pagos de intereses, amortizaciones de deuda y otras obligaciones de pagos pendientes. Dicha financiación puede estar ausente por varias razones relacionadas, como en los casos anteriores, con la situación problemática de una entidad concreta o la desconfianza general que se establece en una crisis, lo que hace imposible o aumenta hasta niveles prohibitivos el coste de contraer nuevos préstamos, emitir nuevos bonos o refinanciar los préstamos pendientes. El descalce de plazos entre los activos y los pasivos bancarios (generalmente plazos mucho más cortos de los pasivos con respecto a los activos) genera una estructura de fragilidad permanente en los bancos, sujetos siempre al riesgo de liquidez. Este riesgo no se puede identificar con un solo instrumento financiero, debido a que tiene que ver con condiciones propias de la entidad, pero puede ser inducido también por el entorno y se manifiesta como un problema del conjunto del balance, qué en determinadas situaciones, no genera suficientes recursos para hacer frente a los costes de mantener la actividad (Choudhry 2011; Ruozi y Ferrari 2012; Adalsteinsson 2014).

- Riesgo operacional

El riesgo operacional es una categoría heterogénea que comprende varias fuentes de posibles pérdidas desde errores de los sistemas informáticos u otros procesos que intervienen en el desarrollo de las actividades diarias, errores humanos (por ejemplo en el registro o seguimiento de las operaciones de negociación) o pérdidas por otros eventos como fraudes, robos, juicios y sentencias desfavorables (el riesgo derivado de juicios y otros trámites legales se trata a veces como una categoría aparte de “riesgo legal”). Los riesgos

comprendidos en esta categoría abarcan un campo muy amplio y desde Basilea II se exige el mantenimiento de capital por riesgo operacional (Girling 2013; Blunden y Thirlwell 2013; Cavestany, Boulwood, y Escudero 2015).

- Riesgo reputacional

Es el riesgo de deterioro de la imagen del banco o de la confianza que mantienen los clientes en la entidad, los auditores o supervisores o la opinión pública general. Está relacionado con aspectos como la calidad de los servicios ofrecidos, la política de precios, la atención a los clientes, la financiación de programas de becas u otras acciones de apoyo social (o la ausencia de los mismos). El riesgo reputacional está muy relacionado también con el riesgo operacional en cuanto a que la calidad de los procesos internos y la profesionalidad del personal tienen un impacto directo sobre la percepción que se tiene sobre una entidad en sus relaciones con otros agentes (Bates, Drennan, y Atkins 2001; Soprano et al. 2009; Kaiser y Merl 2014).

- Riesgo sistémico

Consiste en que, ante la ocurrencia de eventos negativos para una parte de la economía, un sector o un determinado banco, por mecanismos varios (contagio de expectativas, fenómenos de manada, etc.) los mismos tienen repercusiones sobre entidades que no presentan, por lo menos en un momento inicial, las debilidades del sector o banco que experimenta dificultades. Las pérdidas asociadas al riesgo sistémico son aquellas inducidas por las pérdidas de otros agentes en un contexto donde generalmente el sector bancario se percibe como homogéneo y no se discrimina entre la salud de distintas entidades (Fouque y Langsam 2013; Freixas, Laeven, y Peydro 2015; Eatwell y Taylor 2005).

- Riesgo de modelo

Aunque forma parte de los riesgos operacionales lo separamos por su importancia en el contexto de esta investigación. El uso de modelos es una acción imprescindible en la valoración de instrumentos financieros y en la medición y gestión de la mayoría de las categorías de riesgos. Cualquier modelo representa una simplificación de la realidad en la que opera una entidad financiera, y supone aceptar una serie de supuestos, en muchos casos incontrastables, elegir entre técnicas alternativas para la estimación de los parámetros de

los modelos o utilizar determinadas variables y excluir otras (en función de la disponibilidad de datos relevantes, su calidad, etc.). En determinados momentos las variables excluidas pueden jugar un papel fundamental en la generación de pérdidas, porque en dichos contextos cobran una relevancia que no tenían con anterioridad o porque, superando ciertos umbrales, se convierten en factores relevantes, aunque no lo fueran en el pasado. Por ello es necesario contrastar continuamente el comportamiento de los modelos, identificar sus debilidades y posibilidades de mejora en el marco de las limitaciones propias de cada uno (López 2005; Morini 2011).

- Riesgo de mercado

El riesgo de mercado se define como la posibilidad de sufrir pérdidas ante movimientos adversos de los precios de los instrumentos líquidos negociados por los bancos en mercados financieros activos. El párrafo 683(i) de Basilea II ofrece la siguiente definición del riesgo de mercado: *“El riesgo de mercado se define como la posibilidad de sufrir pérdidas en posiciones dentro y fuera de balance a raíz de oscilaciones en los precios de mercado. Los riesgos sujetos a este requerimiento de capital son los siguientes:*

- *riesgos inherentes a las acciones y a instrumentos relacionados con los tipos de interés en la cartera de negociación;*
- *riesgo de divisas y riesgo de productos básicos en todo el banco.”*

Junto con los instrumentos negociados en mercados organizados o mercados bursátiles, los bancos compran y venden una cuantía mucho mayor de instrumentos financieros en mercados extrabursátiles o bilaterales, también denominados OTC. La negociación en mercados extrabursátiles se lleva a cabo entre dos contrapartes, a través de la venta por parte de un emisor y compra por parte de un inversor de un determinado instrumento. Debido a que no existe una negociación activa de estos instrumentos (en la forma de compras y ventas posteriores al nacimiento del instrumento en la operación entre las contrapartes iniciales), el valor de los mismos en las fechas posteriores a su contratación se calcula utilizando modelos de valoración específicos a cada instrumento. El valor obtenido con un determinado modelo de valoración está sujeto a variaciones diarias positivas o negativas en función de la variación de los precios de mercado que se utilizan en la estimación de los

parámetros del modelo. Las variaciones pueden ser positivas o negativas, como lo son las variaciones de los precios de mercado de los instrumentos líquidos y, en este sentido, las pérdidas registradas por un instrumento valorado con modelos se pueden asimilar al riesgo de mercado<sup>6</sup>. Los modelos de valoración forman parte de la esfera de nuestra investigación en la medida en la que afectan a la valoración de instrumentos para los que la regulación exige el mantenimiento de capital en concepto de riesgo de mercado con modelos VaR, pero no constituyen un elemento central de la misma (Duffie y Pan 1997; Alexander 1996; Jorion 2007).

Los modelos VaR se pueden emplear para calcular el capital regulatorio de los instrumentos de la cartera de negociación. Según las normas regulatorias, la cartera de negociación se compone de instrumentos financieros en los que se han tomado posiciones cortas o largas, y que se mantienen a corto plazo, para beneficiarse del movimiento de sus precios. Existe la posibilidad de que dichos movimientos no sean los esperados, lo que puede acarrear ganancias menores de las esperadas o importantes pérdidas. Los eventos que pueden causar las pérdidas dependen de la naturaleza de las posiciones de la cartera de negociación y el tamaño de las pérdidas y su impacto en los resultados totales de la entidad dependen a su vez del peso de dicha cartera en el total del balance. Las carteras de negociación son especialmente relevantes en los grandes bancos, sobre todo los bancos con presencia internacional, que gestionan carteras de gran volumen y complejidad. Algunas de estas entidades son consideradas sistémicas a nivel global según la metodología del Comité de Basilea y el Consejo de Estabilidad Financiera (FSB 2015).

Los instrumentos que componen la cartera de negociación pueden estar registrados en el activo o pasivo de la entidad (Tabla 1.1). Los instrumentos registrados en la cartera de negociación en el activo son las acciones, bonos y divisas adquiridas (en posición larga). Los instrumentos derivados, pueden ser pasivos o activos en función del signo del valor actual estimado de los flujos de caja futuros contingentes que estipula cada contrato y que dependen de los cambios en el valor de los activos subyacentes. Todos los instrumentos que

---

<sup>6</sup> Existen diferencias importantes entre los diferentes tipos de instrumentos que se valoran con modelos, que hace que esta similitud desaparezca. Se desarrollará este tema con más detalle en el segundo capítulo.

cumplen la definición de derivados deben reconocerse en el balance como un activo o pasivo. Un derivado que se valora con modelos y es reconocido previamente como un activo, pasa a reconocerse como un pasivo al cambiar el signo de dicho valor.

Otra categoría de instrumentos de la cartera de negociación son los productos estructurados, que reúnen conjuntamente las características de instrumentos no derivados e instrumentos derivados, que se denominan derivados implícitos; puede haber también estructuras compuestas solo por instrumentos derivados. Por tanto, la totalidad o parte de los flujos de un producto estructurado varían de forma similar a los derivados implícitos si estos fueran considerados de forma independiente. La valoración de estos productos consiste en separar los derivados implícitos del contrato principal y contabilizarlos como derivados independientes, en función del cumplimiento de ciertos criterios establecidos en las normas contables (Vilariño, Pérez, y García 2008, 189-93).

Las acciones, bonos o divisas en posición corta son elementos de pasivo y se concretan en valores que los bancos toman prestados y deben devolver a sus propietarios en las correspondientes fechas de vencimiento.

Las pérdidas en la cartera de negociación pueden registrarse tanto por movimientos a la baja como por aumento de los precios de los instrumentos negociados, en función de las posiciones mantenidas en los mismos o si se trata de un activo o un pasivo. La disminución del valor de un instrumento clasificado en el activo implica el reconocimiento de una pérdida que aminora el beneficio. Por el contrario, la disminución del valor de un pasivo se contabiliza como una ganancia y lleva a un aumento del beneficio. El aumento de valor de un pasivo hace que se registre una pérdida que lleva a la disminución del beneficio. Las pérdidas y ganancias que generan los cambios de valor de los derivados dependen de que el derivado forme parte o no de una cobertura contable (Vilariño, Pérez, y García 2008, cap. 6).

Por tanto, las caídas o aumentos de los tipos de interés o de los precios de las acciones cotizadas en mercados bursátiles, las fluctuaciones de los tipos de cambio o de los precios de las materias primas representan acontecimientos que pueden generar ganancias, pero también importantes pérdidas para las entidades financieras y otros inversores que participan en los mercados.

Entre las fuentes del riesgo de mercado están el aumento y pinchazo de burbujas financieras, las crisis bancarias, fenómenos de contagio, quiebras empresarias, factores políticos y las expectativas sobre estos acontecimientos de las entidades que operan en los mercados. Estos ejemplos apuntan a situaciones extremas en los que las caídas de los precios pueden ser muy importantes y exacerbadas por expectativas de recesión y perspectivas económicas negativas asociadas a un contexto de crisis. Pero el riesgo de mercado también está presente en condiciones normales de mercado, entendiendo por ello movimientos diarios en situaciones de no crisis. Las expectativas de los y las operadoras que realizan todos los días las compras y ventas que constituyen “los mercados”, mueven los precios en direcciones y hacia niveles inciertos.

#### **1.2.4 Las mesas de negociación**

La compra y venta de instrumentos financieros para la negociación se lleva a cabo desde los departamentos de tesorería de los bancos, que incluyen distintas unidades encargadas de la negociación de instrumentos específicos. Las mesas de tesorería de un banco, funcionan como unidades de negocio individuales, para los cuales existen diversas formas organizativas integradas por un número variable de operadores (desde uno a grandes equipos), con una estructura jerárquica determinada y con un ámbito definido en cuanto a las estrategias de negociación que pueden llevar a cabo. Por ejemplo, una mesa que negocia instrumentos sobre el tipo de cambio dólar-yen, podría estar autorizada a vender o comprar divisas al contado, futuros sobre el tipo de cambio dólar-yen, opciones y otros instrumentos relacionados con dichas divisas. Una mesa que realiza transacciones con bonos de deuda pública podría operar con determinados tipos de bonos de Estados Unidos y bonos emitidos por países de Europa. El modelo de negocio de cada entidad determina las particularidades de la organización de las mesas.

Los departamentos de tesorería se constituyen como departamentos independientes dentro de los bancos a partir de los años 70 y unifican distintos departamentos encargados de la negociación de instrumentos financieros, generalmente en una única sede. En los bancos estadounidenses las primeras salas de tesorería se crean en los años 70, para la negociación de acciones y bonos después de la implementación del Nasdaq y el aumento del mercado

secundario de bonos del gobierno. En los bancos europeos es a partir de los años 80 cuando se empiezan a extender, empezando por las reformas de los mercados financieros de Francia y Reino Unido.

Existen mesas que cumplen la función de creadores de mercado para títulos emitidos por otras entidades y mesas que se encargan de negociar los productos diseñados por otros departamentos dentro del banco. Cada mesa mantiene una cuenta de resultados propia y en función de las pérdidas o ganancias registradas se calculan las retribuciones de los operadores y el riesgo de sus operaciones en relación con el capital de la entidad.

La organización de las mesas, los resultados obtenidos en cada una, los métodos de medición del riesgo o la frecuencia con la que se elaboran informes sobre sus actividades es información reservada, que los bancos no tienen obligación de reflejar en las memorias anuales o los estados financieros públicos<sup>7</sup>.

### **1.2.5 Consideraciones preliminares sobre el método basado en modelos VaR**

Las normas comprendidas en el método basado en modelos VaR prevén que las entidades financieras, habiendo recibido previamente la autorización de los reguladores nacionales, pueden utilizar los modelos de su elección, dentro de la categoría de modelos VaR, para computar los requerimientos de capital para riesgo de mercado. Los modelos VaR susceptibles de ser autorizados abarcan un amplio conjunto de técnicas estadísticas y econométricas utilizadas para realizar estimaciones de las pérdidas potenciales que una cartera de instrumentos financieros puede generar en un horizonte temporal determinado, generalmente corto (diario, 10 días o un mes), y con un determinado nivel de confianza (generalmente por encima del 95%), al disminuir o aumentar su precio en el mercado.

Como se desarrollará más adelante, dichas técnicas comienzan a utilizarse en la gestión del riesgo de mercado aproximadamente partir de los años 1990 y desde el año 1996 la regulación permite que cada banco utilice sus modelos para el cálculo del capital regulatorio

---

<sup>7</sup> El nuevo marco regulatorio para riesgo de mercado de Basilea (CBSB 2016b) plantea que la validación de los nuevos modelos internos se realice a nivel de cada mesa de negociación. La delimitación de las mismas para el cálculo de capital regulatorio será competencia de los bancos y sujeta a la aprobación de los reguladores.



para riesgo de mercado, previa autorización de los supervisores nacionales. Según apunta el Comité de Basilea, los modelos VaR han constituido en éstas últimas dos décadas el método predilecto para calcular el capital mínimo regulatorio para riesgo de mercado de numerosos bancos, tal que actualmente *“casi todos los grandes bancos activos internacionalmente tienen aprobados modelos para las carteras de negociación y más de la mitad de los requerimientos de capital por riesgo de mercado se determinan con métodos basados en los modelos internos”* (CBSB 2012, 53, Nota 53).

La validación de los modelos internos por parte de los supervisores exige el cumplimiento de una serie de requisitos estipulados en la regulación con respecto a la organización de los sistemas internos de gestión de riesgos en los bancos. La elección y mantenimiento del modelo matemático es una parte fundamental de la gestión, pero también lo son otros aspectos que no están directamente relacionados con el funcionamiento del modelo: por ejemplo, la elaboración de información desde el departamento de riesgos sobre los riesgos a los que la entidad tiene exposición, su tratamiento por la alta dirección y el papel de ésta última en imponer límites para mantener el nivel de riesgo dentro de una franja considerada asumible para cada entidad.

En este sentido es importante subrayar que el desarrollo de un modelo de riesgo se debe entender como una tarea multidimensional que deben llevar a cabo los bancos, y que comprende, pero no se reduce al diseño de modelos matemáticos presentes en cada categoría de riesgo. El modelo de riesgo en sentido amplio (con respecto principalmente al riesgo de mercado, pero la idea general se puede aplicar también para otras categorías de riesgo) abarca la identificación de las fuentes de riesgo asociadas a las actividades de los bancos en los mercados financieros y de todas sus modalidades, la elaboración de una métrica adecuada para la medición del riesgo, la comprobación periódica del funcionamiento de los modelos matemáticos a través de la comparación entre las estimaciones obtenidas con los modelos y los resultados efectivos registrados diariamente, la utilización de los resultados obtenidos con los modelos para la toma de decisiones con respecto a los riesgos que se quieren asumir dentro de una estrategia de negocio determinada, una organización interna que permita la comunicación acerca de los riesgos entre las distintas áreas de negocio y el control interno, la existencia de unas políticas estrictas sobre los límites a las posiciones

de negociación, la concesión de excepciones a dichos límites, la contratación de coberturas y un sistema de sanciones disuasorias en caso de incumplimiento. La idoneidad de las bases de datos utilizadas en la medición del riesgo es otro aspecto importante que debe ser tenido en cuenta, como lo es la calidad técnica de los recursos humanos que desarrollan las tareas de gestión y control interno (departamentos de riesgos, de auditoría, órganos directivos).

La implementación de todos estos procesos a nivel de cada banco conforma los sistemas internos de gestión de riesgos de cada entidad. El papel del gobierno corporativo, compuesto por los altos directivos y los representantes de los accionistas del grupo bancario, ocupa formalmente un lugar destacado en la gestión de los riesgos. Existe un amplio consenso acerca de la importancia del gobierno corporativo en la gestión empresarial de todos los sectores<sup>8</sup> y el Comité de Basilea ha publicado a largo de las últimas décadas numerosos documentos de “buenas practicas” para el gobierno corporativo de las entidades financieras (CBSB 1999; 2006a; 2015b; 2010a). El último documento publicado antes de la crisis (CBSB 2006a) indica: *“La junta directiva y la alta dirección de un banco son principalmente responsables por los resultados obtenidos por el banco. Igualmente, los accionistas deben pedir responsabilidades a la junta directiva, que gobierna el banco de forma efectiva”*. Dicha responsabilidad es consecuencia de las funciones que deben cumplir los órganos ejecutivos de alto nivel entre los que se cuentan la toma de decisiones acerca de los riesgos que se desean aceptar, rechazar o mitigar (en la medida en la que existe esta posibilidad) dentro del modelos de negocio de cada banco. El diseño del modelo de negocio recae en la junta directiva, cuya responsabilidad es también la supervisión del cumplimiento de la misma (CBSB 2015b).

Los órganos de gobierno tienen, en este sentido, la responsabilidad de decidir los objetivos con respecto a la rentabilidad esperada de las operaciones realizadas y la desviación aceptable de la misma, así como los límites de riesgo, representados por los valores máximos aceptables de exposición al riesgo, y los planes de contingencia correspondientes. El control

---

<sup>8</sup> A este efecto, la OCDE ha elaborado varias guías desde finales de los años 90, que el Comité apunta que sirvieron de base para los primeros documentos que elaboró sobre las funciones del gobierno corporativo de las entidades financieras, que buscaban “asistir a los gobiernos en sus esfuerzos de evaluar y mejorar los marcos referentes al gobierno corporativo y proveer guías para los reguladores y participantes en los mercados financieros” (CBSB 2006a).

del cumplimiento de las normas establecidas para este propósito también es responsabilidad de las juntas directivas debido a que son éstas estructuras las que tienen la capacidad de promover una cultura de cumplimiento de los límites establecidos y dotar de la autoridad necesaria a los responsables de la gestión del riesgo para investigar todas las actividades de las distintas áreas de negocio que conllevan riesgos para el banco.

La validación por parte de los supervisores de que los sistemas internos de gestión de riesgos cumplen con todos los requisitos comprendidos en la regulación es una condición indispensable para que los bancos reciban la autorización de utilizar los modelos VaR de su elección en el cálculo del capital regulatorio. Por tanto, mientras que la regulación expone las normas a seguir en el desarrollo de los sistemas internos, los departamentos de supervisión de los organismos reguladores nacionales son los encargados de asegurar que las normas se traducen en la práctica diaria de las entidades.

El proceso de validación supervisora abarca todos los campos mencionados anteriormente, incluido el cumplimiento de las funciones previstas para los órganos de gobierno. La complejidad de este proceso tiene varias dimensiones entre las que se cuentan la dificultad de obtener información detallada sobre la organización de los procesos internos de los bancos y la necesidad de evaluar la calidad de dichos procesos, más allá del cumplimiento formal de las reglas operativas, cuando estas existen. Un ejemplo en este sentido es evaluar la calidad de la información producida por el departamento de riesgos más allá del mero cumplimiento de la elaboración del informe diario para la alta dirección exigido por las normas, o el grado en el que las estimaciones sobre el riesgo obtenidas con los modelos se traducen en decisiones sobre los límites a la negociación de ciertos instrumentos o contratación de coberturas. Otro ejemplo es la validación del nivel de preparación de los consejos directivos y de administración, y su adecuación para los puestos que ocupan desde el punto de vista de su capacidad de llevar a cabo la gestión del riesgo en los términos planteados por la regulación. La crisis financiera del 2007 ha revelado que, en cuanto a estos aspectos, la situación dentro de los bancos está muy lejos de los casos ideales planteados en

la regulación<sup>9</sup>. Este trabajo no pretende aportar un análisis en profundidad de los temas citados en los últimos apartados, pero sí apuntar que estos aspectos son relevantes a efectos de encuadrar adecuadamente los modelos matemáticos en el contexto de la gestión de riesgos en una entidad bancaria. También para apuntar que una gestión defectuosa en estos campos o el uso inadecuado de una herramienta cuantitativa determinada, como son los modelos VaR en este caso, no debe confundirse con la inadecuación de dicha herramienta.

No existen restricciones en cuanto al tamaño de las entidades que pueden solicitar la validación de sus modelos internos, pero el marco para riesgo de mercado basado en modelos internos fue pensado (como los métodos basados en modelos internos para otros riesgos, también denominados métodos “avanzados”) para los grandes bancos con un elevado volumen de negociación (CBSB 2006c, párr. 683(iv)). Estos bancos se consideraban suficientemente sofisticados desde el punto de vista de sus capacidades organizativas, formación técnica del personal, etc. para implementar los sistemas de medición y control que exige esta metodología.

---

<sup>9</sup> Por ejemplo, Kirkpatrick (2009) analizan fallos del gobierno corporativo en la gestión del riesgo de las entidades financieras (información sobre la exposición al riesgo que no llegaba a comunicarse a los consejos directivos, aprobación de estrategias sin establecer métricas adecuadas para monitorizar su implementación o “potenciales debilidades” en las competencias de los integrantes de los consejos) y los problemas en los sistemas de remuneración de los ejecutivos que no estaban relacionados con el riesgo asumido por los bancos. En IOSCO (2014) se discuten también algunos de estos temas (IOSCO es acrónimo de *International Organization of Securities Commissions*, en castellano la Organización Internacional de Comisiones de Valores, un foro internacional que reúne a reguladores de mercados de valores de todo el mundo).

### **1.3 Contexto histórico: grandes transformaciones del sistema financiero**

A partir de los años 70 la paulatina liberalización de los movimientos internacionales de capitales y la eliminación de numerosas restricciones sobre la naturaleza y ámbito geográfico de las operaciones de las entidades financieras en los países industrializados marcan el comienzo de una época de grandes transformaciones y globalización del sistema financiero (Palazuelos 1998). Aparecen en este contexto nuevas posibilidades de negociación para los bancos, aumenta la diversidad de los instrumentos negociados y se crean nuevos mercados, conectados internacionalmente. El volumen y la complejidad de las actividades de negociación es creciente e impulsa el desarrollo de técnicas para valorar los nuevos instrumentos y gestionar y mitigar el riesgo dentro de las propias entidades (Dowd 2005, cap. 1). A la vez, el desarrollo de estas técnicas retroalimenta la negociación y la creación de nuevos instrumentos. En los años 1970-80, se empiezan a implementar nuevas normas regulatorias para los bancos comerciales, basadas en la exigencia de niveles mínimos de capitalización, cuyo objetivo declarado es fomentar la competencia entre los bancos en condiciones de igualdad y la estabilidad financiera en un panorama de creciente concentración bancaria, expansión de las entidades a nivel internacional y eliminación de algunas restricciones establecidas después de la segunda guerra mundial.

Se destacan a continuación algunos de los cambios que en las últimas cuatro décadas han tenido un impacto decisivo en la transformación del sistema financiero. Estos acontecimientos tienen múltiples ramificaciones tanto a nivel macroeconómico como político y para las actividades de otros agentes distintos de las entidades financieras. A continuación, se resaltarán de manera esquemática especialmente aquellos aspectos relacionados con el auge y diversificación de los mercados financieros y las necesidades que llevan al desarrollo de nuevas técnicas de gestión para los riesgos que surgen de la participación de los bancos en dichos mercados.

### **1.3.1 Fin del sistema monetario internacional basado en tipos de cambio fijos**

La flotación de los tipos de cambio después del fin, en 1971, del sistema monetario internacional establecido después de la segunda guerra mundial genera un escenario en el que bancos y empresas se ven expuestas, en mayor o menor medida y según el tamaño de las operaciones que realizan con divisas, a las fluctuaciones en el valor de las mismas. Las operaciones en los mercados de divisas proporcionan nuevas oportunidades para realizar beneficios y abren el paso a la negociación de instrumentos derivados en posiciones de cobertura o especulativas.

### **1.3.2 Reformas de los mercados bursátiles**

A partir de la década de 1970 las bolsas de valores experimentan cambios importantes: aumenta el número de las empresas cotizadas en las bolsas y se desarrollan, junto a las bolsas tradicionales, nuevos mercados bursátiles en los países industrializados y “emergentes”. En 1971 se funda el Nasdaq, el primer mercado bursátil de negociación electrónica y en las décadas siguientes se desarrollan muchas de las infraestructuras tecnológicas e institucionales que permiten la creación e interconexión de nuevas bolsas, que facilitan la salida a bolsa de nuevas empresas y la realización de operaciones a nivel internacional y en tiempo real. Los cambios en la legislación que regula el funcionamiento de las principales bolsas europeas en los años 80 (Francia, Suiza, Alemania o Reino Unido) y su modernización tecnológica, acompañados por cambios favorables en la fiscalidad y la eliminación de los controles sobre el movimiento transfronterizo de capitales impulsan la actividad en las bolsas a nivel internacional. Esto sucede también en países “emergentes” que potencian las bolsas de valores locales, aunque principalmente para la negociación de la deuda pública y en menor medida para los instrumentos de capital (Vilariño 2011a, 24; Smith y Walter 2003, cap. 7).

### **1.3.3 Aumento de las emisiones de bonos gubernamentales y corporativos**

En los años 80 empieza a aumentar la emisión de bonos gubernamentales en un cambio del modelo de financiación de los estados basado anteriormente en financiación bancaria y creación de base monetaria de los bancos centrales. Debido a la existencia de importantes déficits fiscales en los años 1970-80 los gobiernos buscan captar el ahorro privado y llevan a cabo la modernización de los mercados de deuda pública. Se potencia la negociación electrónica y se implementan normas fiscales favorables a la tenencia de bonos públicos por parte de entidades financieras e inversores minoristas. Los fondos de inversión son unos de los vehículos que reciben la mayor parte de las ventajas fiscales, pero los bancos realizan también grandes inversiones en deuda pública dentro de su actividad de negociación a corto plazo o como inversión a vencimiento, para disponer de títulos de alta calificación que se pueden emplear como colateral para obtener financiación o para la gestión de la liquidez. Con el propósito de potenciar la compra de los bonos públicos, se apoya también la creación de mercados organizados de derivados sobre bonos<sup>10</sup>.

Aumenta también la financiación de las empresas y de los propios bancos a través de la emisión de bonos. En Estados Unidos las grandes corporaciones se habían financiado emitiendo papel comercial desde principios del siglo, pero a partir de 1960 el mercado de bonos corporativos conoce un gran desarrollo. Las emisiones aumentan por siete en 1960, en la década de los 70 se incrementan cuatro veces y en 2000 el mercado de bonos corporativos de EEUU sumaba 1,6 billones de dólares (USD), comparado con 125 mil millones USD en 1980 (NCCFEC 2011, cap. 2 p. 31). La demanda para estos instrumentos es potenciada por el surgimiento de los inversores institucionales, fondos de inversión y otros vehículos gestionados por los grandes bancos de inversión.

Las entidades financieras recurren también a la emisión de bonos ante la disminución relativa de la masa de depósitos minoristas, como consecuencia de la proliferación de los fondos de inversión monetarios en los años 70-80 y las rentabilidades más altas que estos ofrecen a los

---

<sup>10</sup> En España se crea el Mercado Español de Futuros Financieros (MEFF) en 1989 (Vilariño, Pérez, y García 2008, cap. 1).

ahorradores frente a los tipos de interés de los depósitos bancarios. El coste más elevado de este tipo de financiación con respecto a los depósitos minoristas impulsó también el uso de las titulizaciones, como método de financiación<sup>11</sup> (Vilariño 2011b, 20; Trujillo del Valle 2011, 171).

#### **1.3.4 Creación de los mercados de derivados**

Los mercados organizados de derivados se empiezan a desarrollar en los años 70 con los derivados sobre tipos de cambio y tipo de interés (Dowd 2005, 3). Estos instrumentos surgen de las necesidades de gestionar los riesgos de los productos subyacentes, acciones, bonos, divisas o productos básicos, y su negociación es facilitada por la existencia modelos de valoración que impulsan la creación de numerosos nuevos instrumentos. Las exigencias de garantías en los mercados organizados, facilita a su vez la negociación de contratos estandarizados y sirve como mitigante del riesgo de mercado.

La negociación de derivados OTC (*over-the-counter*) ha conocido a su vez un gran incremento en las últimas décadas. Los instrumentos OTC permiten un diseño más personalizado de los términos contractuales que no se puede obtener en los mercados organizados (puede ser en las fechas de pago de los flujos del contrato o de observación de las variables que determinan dichos pagos, los importes nominales, los términos de liquidación, o cualquier otra característica del contrato), pero a diferencia de los mercados organizados, en los mercados OTC el riesgo de contraparte es importante debido a que no en todos los casos existen exigencias de garantías.

---

<sup>11</sup> Esta dinámica comienza con la eliminación, en los años 80 en EEUU, de los topes a los tipos de interés a los que los bancos podían remunerar los depósitos (Gilbert 1986). Después de un similar proceso de liberalización en otros países europeos, los bancos comerciales tuvieron la posibilidad de ofrecer mayores tipos de interés para remunerar los depósitos y competir con los nuevos vehículos de inversión que buscaban captar el ahorro privado, como los fondos de inversión gestionados por los bancos de inversión, que ofrecían mayor rentabilidad del que estaban proporcionando los depósitos tradicionales. Este escenario fue potenciado por las tensiones inflacionistas de los años 70 y principios de los 80 y la respuesta de los bancos centrales para atajarlas, que empujaron al alza los tipos de interés. El aumento en el coste de mantener los depósitos, junto con el aumento de la financiación por la vía de la emisión de papel comercial, más costosa que la financiación con depósitos, lleva a un deterior del margen financiero, sobre todo en los bancos europeos. (NCCFEC 2011, cap. 2-4; Vilariño 2011b, 19).



Tabla 1.2 Fechas de creación de algunos de los principales mercados organizados de derivados

1972	Futuros sobre divisas
1973	Futuros sobre bonos del Tesoro
1975	Opciones sobre acciones
1981	Swaps (en castellano, permutas) de divisas
	Futuros sobre eurodólares
1982	Swaps de tipos de interés
	Futuros sobre índices de acciones
1983	Opciones sobre índices de acciones
	<i>Caps y floors</i> sobre tipos de interés
1985	<i>Swaptions</i>
1987	Opciones compuestas
	Opciones asiáticas (media de precios)
1989	Opciones cuanto
1990	Swaps de índices de acciones
1991	Swaps diferenciales
1994	Swaps de incumplimiento de crédito (CDS)
1996	Futuros sobre la electricidad
1997	Futuros sobre variables climáticas
2001	Futuros sobre acciones individuales
2004	Futuros sobre índices de volatilidad

Fuente: Jorion (2007)

Los términos generales y definiciones utilizadas en la mayoría de los contratos están comprendidos en los contratos marco redactados por la ISDA (*International Swaps and Derivatives Association* o en castellano la *Asociación Internacional de Swaps y Derivados*), pero los contratos efectivos entre las contrapartes pueden contener cláusulas particulares que dependen del mercado de cada instrumento. Actualmente se están haciendo esfuerzos para establecer cámaras de compensación para los derivados OTC y la determinación de requerimientos de capital para las exposiciones en dichas cámaras de compensación (CBSB 2014b). Este tema se tratará más ampliamente en el capítulo 7, junto con las otras reformas

impulsadas a raíz de la crisis por el Comité de Basilea y otros organismos reguladores nacionales e internacionales.

El desarrollo de los mercados de derivados ofreció respuesta a las crecientes necesidades de cobertura ante las transformaciones que atravesaron los mercados financieros y las economías de todo el mundo industrializado o emergente a partir de los años 70. Esto llevó también a un aumento de las posiciones especulativas y las pérdidas registradas por importantes empresas y bancos en operaciones con derivados en los años 90 hizo que aumentara la preocupación por la gestión de los riesgos relacionados con estos instrumentos (Vilariño 2011a, 22; Holton 2014, sec. 1.9).

### **1.3.5 Nacimiento del mercado LIBOR**

En el año 1986 la Asociación de Banqueros Británicos (*British Bankers' Association* o BBA) publica por primera vez los tipos LIBOR (*London InterBank Offered Rate*) para operaciones denominadas en dólares estadounidenses, libras esterlinas y yenes, después de una década en la que se había incrementado el número de operaciones referenciadas a dichos tipos de interés. Las primeras operaciones documentadas referenciadas a tipos de interés basados en los costes de financiación declarados por los bancos (antes de que se convirtieran en una referencia estandarizada bajo el paraguas de la BBA en 1986), se remontan a los préstamos sindicados concedidos en el mercado de euro-divisas<sup>12</sup> del centro financiero de Londres a principios de los años 70 y, con el tiempo, se empiezan a emplear como referencia para los préstamos del mercado interbancario (Ridley y Jones 2012; Hou y Skeie 2014). La BBA formaliza la recogida de información sobre estos tipos de interés y la publicación diaria y en

---

<sup>12</sup> El nacimiento del mercado LIBOR está relacionado con el desarrollo del mercado de eurodólares y, según algunos autores, se remonta a los préstamos sindicados denominados en dólares concedidos por bancos con sucursales en el mercado de Londres a finales de los años 60 (Ridley y Jones 2012). Durante la década de los 60, los bancos de Londres habían sido receptores de grandes cantidades de dólares procedentes de depósitos denominados en dólares de entes públicos y privados no estadounidenses (excedentes de los países productores de petróleo, reservas de bancos centrales, fondos relacionados con el comercio internacional e inversión extranjera, etc.). Los dólares en posesión de no residentes depositados en los bancos de Londres se emplearon para financiar una creciente demanda de dólares a nivel internacional. Para más detalles sobre las fuerzas que impulsan la creación del mercado de eurodólares ver Smith y Walter (2003, 19-37). Los tipos de interés de los depósitos y los préstamos denominados en dólares concedidos en Londres eran variables, cambiando en función del tipo de interés de los préstamos interbancarios de dicho mercado, tipos que reflejaban los costes de financiación medios de los bancos y que se convertirían en 1986 en los tipos LIBOR estandarizados por la AAB.

la segunda mitad de los años 80 las publicaciones oficiales se extienden también a otras divisas, a plazos entre 1 día y 1 año (Hou y Skeie 2014). La publicación diaria de información sobre los tipos LIBOR retroalimenta las operaciones relacionadas con estos tipos de interés, que se convierten en tipos de referencia para un amplio mercado de préstamos corporativos y minoristas, y numerosos instrumentos financieros derivados. Algunas fuentes situaban en 2013 el valor de las operaciones para las que el LIBOR sirve como referencia alrededor de 800 mil millones (Malloch y Mamorsky 2013, cap. 1; The Economist 2012); según Hou y Skeie (ibid) en 2014, los tipos LIBOR eran la referencia para alrededor de 300 billones de dólares en swaps y futuros.

### **1.3.6 Desregulación del sector financiero**

Una parte importante del proceso de desregulación llevado a cabo en las décadas 1980-90 consistió en permitir que los bancos comerciales extendieran sus actividades crediticias a nuevos sectores y se insertaran paulatinamente en actividades previamente dominadas por los bancos de inversión u otros intermediarios financieros, como la negociación de valores o de instrumentos derivados en los mercados bursátiles u OTC o la gestión de patrimonios. La extensión de sus actividades fuera de las fronteras nacionales acompaña los procesos de eliminación de restricciones a la circulación de capitales a nivel internacional (Swary y Topf 1993; Panitch y Gindin 2015).

El aumento de su participación en los mercados de capitales internacionales y los mercados de derivados aumenta la sensibilidad de sus resultados a la variación de las variables financieras como los tipos de cambio, los tipos de interés o movimientos bursátiles que responden a su vez a la coyuntura macroeconómica. Por ejemplo, los movimientos en los tipos de interés de los bancos centrales en base a las expectativas de inflación impactan en los tipos de oferta del mercado interbancario (LIBOR, EURIBOR) y por tanto en los costes de financiación de las entidades financieras en las operaciones de mercado abierto, en los mercados interbancarios, los mercados de bonos o la liquidación de las posiciones en instrumentos derivados. También impactan en el precio de las acciones, los tipos de cambio y los precios de los bonos emitidos por otras empresas financieras o de otros sectores, instrumentos que son negociados con frecuencia por los bancos.

### 1.3.7 Desarrollo de la ingeniería financiera

El nacimiento de la ingeniería financiera está estrechamente relacionado tanto con la aparición de nuevos instrumentos financieros, como la creación de modelos de valoración para los instrumentos derivados, y también con el diseño de nuevas métricas de riesgo. *“Los cambios en los mercados y en los instrumentos financieros se combinaron en un ciclo de retroalimentación con los desarrollos analíticos. Dos fenómenos muy importantes fueron la aceptación de los nuevos modelos de valoración de opciones y la implantación de los modelos de medición de los riesgos financieros, fenómeno que tuvo un fuerte apoyo desde la regulación financiera.”* (Vilariño 2011a, 26)

Los pilares de la ingeniería financiera se asientan sobre una serie de desarrollos en el campo de la estadística y el cálculo estocástico y su aplicación en la modelización del comportamiento de las variables financieras. Estas disciplinas experimentan un gran salto realizado en el siglo XX y han sido fundamentales en el desarrollo de la teoría financiera a partir de los años 50.<sup>13</sup> La incorporación de las matemáticas al campo de la investigación y elaboración de teorías sobre los mercados confiere a la industria y práctica financiera un carácter científico frente a la imagen encarnada por la figura del especulador que históricamente se le había asociado<sup>14</sup>. Las técnicas empleadas para la valoración de los derivados, principalmente a raíz de la amplia aceptación del modelo de valoración de opciones estándar propuesto por Black, Scholes y Merton, contribuyen al asentamiento de la metodología de valoración de instrumentos financieros con liquidación contingente (Vilariño, Pérez, y García 2008, cap. 1). Estos fundamentos dan alas a la negociación de opciones y también al desarrollo de nuevos instrumentos como los productos estructurados o los derivados de crédito y posteriormente las titulizaciones sintéticas (Vilariño 2011b, 18).

---

<sup>13</sup> Para más detalles sobre la historia del desarrollo del cálculo estocástico en la matemática y sus aplicaciones financieras ver Jarrow y Protter (2004) y Eberlein et al. (2007)

<sup>14</sup> Un ejemplo de esta postura lo encontramos en Beunza y Stark (2003, 138): “Las finanzas hoy en día son matemáticas, conectadas, computacionales e intensivas en conocimiento [...]. En este contexto los operadores han evolucionado dentro de la industria. Mientras los operadores de los años 80 [...] se caracterizaban por sus riquezas, bravata y poca consideración para los pequeños inversores, los operadores cuantitativos de nuestros días, tienen MBAs en finanzas y doctorados en físicas y estadísticas y es más apropiado considerarlos ingenieros”.

Durante las últimas décadas economistas, gobiernos y reguladores de todo el mundo han impulsado estos desarrollos en el sector financiero y expresado su convicción de que, junto con la liberalización de los mercados, la innovación financiera contribuiría a mejorar la eficiencia económica, resaltando potenciales beneficios esperados en forma de mayores aumentos de la productividad, mejor asignación de los recursos o más diversificación del riesgo (Turner 2015, cap. 2). Los reguladores expresaron repetidas veces la idea de que la aparición de nuevos instrumentos derivados hacía el mercado más “completo”, por la posibilidad de cubrir más riesgos. Es sabido que en los modelos neoclásicos de equilibrio general se acepta el supuesto de que existen mercados de futuros para todas las transacciones futuras (Arrow y Hahn 1971). Alan Greenspan, presidente de la Reserva Federal de Estados Unidos durante más de 18 años, a la vez que manifestaba su asombro ante los sucesos que llevaron a la crisis del 2007, resumía una postura representativa del marco en el que se encontraban los reguladores en ese momento, al confesar que antes de la crisis, estaba cautivado por los modelos internos de los bancos y su habilidad para manejarlos adecuadamente y con integridad (Blinder 2013, cap. 3).

## **1.4 Crisis y regulación del riesgo de mercado: la enmienda de 1996**

A principios de la década de los 1990 el Comité de Basilea empieza a plantear la necesidad de implementar futuros requerimientos de capital para riesgo de mercado, que se aplicarían en la segunda mitad de la década: *“Los cambios en la tecnología, las prácticas de mercado y la naturaleza de muchas actividades bancarias han hecho más importante que el Acuerdo de 1988 sea ampliado para tener en cuenta los riesgos de mercado. [...] La desregulación de los tipos de interés y controles de capital, la liberalización de las actividades permitidas a los bancos y el rápido desarrollo de los mercados financieros han aumentado la posibilidad de que los bancos incurran en riesgo de mercado”* (CBSB 1993, 4). El Comité apunta que la gestión interna de los riesgos es competencia de los bancos, pero plantea la necesidad de introducir nuevas exigencias de capital para riesgo de mercado debido a que *“experiencias recientes en los mercados financieros [...] han aumentado la sensibilidad a los riesgos de la actividad de negociación y reforzado la convicción del Comité de que los supervisores de los bancos internacionales necesitan actualizar sus métodos de supervisión para asegurar la*

*disponibilidad de capital suficiente para cubrir la exposición de los bancos a los riesgos relacionados con la actividad en los mercados” (ibid).*

La diversificación de las posibilidades de negociación fomentadas por la participación en los nuevos mercados trae consigo nuevos riesgos. Frente a la relativamente reducida frecuencia de crisis bancarias entre los años 50-80, a partir de 1980 el escenario financiero es más convulso y las quiebras relacionadas con la materialización de riesgos financieros cobran cada vez más víctimas<sup>15</sup>. Dentro de este panorama la relevancia del riesgo de mercado es también amplificada y las crisis bursátiles o la participación en los mercados de derivados llevaron a algunas de las empresas y bancos considerados muy estables o sofisticados financieramente a registrar sonadas pérdidas. Son casos paradigmáticos las crisis de las bolsas de Nueva York en 1987 o de la bolsa de Tokio en 1989, o las pérdidas registradas por empresas como Procter & Gamble o Enron en las operaciones con derivados a principios de los 1990, la quiebra del Banco Barings, las turbulencias en los mercados de deuda pública en los primeros años de la década de los noventa o el rescate, en la segunda mitad de los años 90, del fondo de inversión Long Term Capital Management<sup>16</sup>. Las pérdidas en los episodios mencionados han sido relacionadas con eventos de riesgo tales como la caída de los valores bursátiles, la fluctuación de los tipos de cambio o movimientos alcistas de los tipos de interés. Estos eventos hicieron evidente la necesidad de gestionar con más prudencia los riesgos relacionados con las actividades de negociación en general, aunque en un primer momento las preocupaciones se centraron principalmente en las operaciones con derivados.

Los factores detrás de cada crisis son distintos, por lo que las fuentes detrás del riesgo de mercado se deben interpretar con una perspectiva amplia, tanto en cuanto a los factores macroeconómicos o políticos que operaron en cada crisis o la materialización agravante de otros riesgos; algunos casos, como el del Banco Barings por ejemplo, son ejemplos de un mal funcionamiento de los controles internos, lo que se podría encajar en la categoría de los heterogéneos riesgos operacionales. Analizar las fuentes de riesgo, los acontecimientos que

---

<sup>15</sup> Reinhart y Rogoff (2011) describen 153 crisis bancarias ocurridas entre 1980-2010 frente a 11 entre 1945-1971.

<sup>16</sup> Véase por ejemplo Vilariño (2001; 2008, cap. 1) para una exposición de los factores detrás de algunas de estas crisis.

pueden llevar a que se registren pérdidas a nivel de un banco o una empresa, es un ejercicio complejo que exige entender por un lado el entorno económico general, el comportamiento de los competidores, consumidores de cada sector, etc. y, por otro, los comportamientos de los gestores que realizan operaciones en los mercados financieros. En palabras de Jorion (2007, 6-7): *“Difícilmente se puede entender el riesgo financiero sin un buen entendimiento de la economía subyacente y de las conexiones entre las principales categorías de riesgo”*.

En algunos países existían requerimientos de capital para controlar la exposición de los bancos al riesgo de mercado antes de la adopción de la Enmienda. En el caso de Estados Unidos, Holton (2014, sec. 1.9) menciona los requerimientos de capital que la bolsa de Nueva York exigía a las empresas que operaban en ella desde los años 20, calculados en base a distintas ponderaciones aplicadas a los activos que las entidades negociaban por cuenta propia o de terceros. Paulatinamente las autoridades federales asumieron el papel de la elaboración de las normas regulatorias y en 1975 la *Securities and Exchange Commission* (SEC) elaboró la *Uniform Net Capital Rule* (Regla neta de capital) a través de la cual se exigía que las empresas financieras que negociaban valores mantuvieran capital en función de un sistema de ponderaciones y neteo entre las distintas posiciones clasificadas en cada categoría: bonos públicos o corporativos, acciones convertibles, acciones preferentes, etc. En los años 80 la SEC actualiza la forma de calcular los requerimientos de capital en base a ponderaciones que reflejaran un escenario de “peores pérdidas” con un nivel de confianza del 95%, basadas en datos históricos de mercado. En el Reino Unido en 1992 y en la Comunidad Europea través de una directiva del 1993, y se empiezan a calcular de una manera similar los requerimientos regulatorios de capital para bancos y sociedades de valores. Junto con los requerimientos de capital basados en la idea de “peores pérdidas” a un alto nivel de confianza, existían también métodos similares para calcular las garantías que debían aportar las entidades que participaban en mercados organizados de derivados. Por ejemplo las normas introducidas en los 1980 para calcular las garantías exigidas en la negociación de futuros en la Bolsa de Chicago, estaban basadas en un método no-paramétrico de estimación de pérdidas inesperadas (Culp, Miller, y Neves 1998). En la actualidad es muy común el empleo de distintos tipos de modelos VaR para calcular las garantías exigibles a los participantes en los mercados organizados de derivados (IOSCO 2014, Anexo 3).

Las crisis y quiebras bancarias de finales de los 80 y principios de los 90 impulsan la introducción de los nuevos requerimientos de capital por riesgo de mercado, que se publican como parte de la regulación de Basilea en el año 1996, a través de una enmienda a Basilea I, el primer acuerdo de capitales emitido por el Comité de Basilea, que comprendía únicamente requerimientos de capital por riesgo de crédito (CBSB 1988). La enmienda (CBSB 1996) ponía a disposición de los bancos dos métodos para calcular el CMR: un método denominado “estándar”, diseñado por el Comité e igual para todos los bancos que se acogían a esta opción, y un método basado en los modelos internos, desarrollados por los propios bancos siguiendo los principios cuantitativos y cualitativos estipulados en la regulación y sujetos al control y autorización de los supervisores nacionales. Desde esa fecha el contenido de la enmienda se incorporó, con algunas alteraciones puntuales, en las sucesivas modificaciones de la regulación hasta después de la crisis de 2007. En el año 2004 en Estados Unidos se adoptan normas similares a las de Basilea II para el cálculo de los requerimientos de capital para riesgo de mercado<sup>17</sup>.

En fechas contemporáneas a la de la Enmienda de 1996, se empiezan a asentar los principios que guiarían el desarrollo futuro de las buenas prácticas de la gestión interna de los riesgos<sup>18</sup>, en un primer momento estrechamente relacionados con la negociación de instrumentos derivados (tales como las funciones del gobierno corporativo o la implementación de departamentos independientes de riesgo en los bancos y sus respectivas funciones). Estos principios se incorporarán también en las recomendaciones del Comité de Basilea (CBSB 1994) y en el diseño de las normas financieras, lo que lleva a un desarrollo mucho mayor de los sistemas de gestión de riesgos y la aplicación de nuevas metodologías de medición del riesgo de mercado en los bancos con respecto a otras empresas no financieras.

---

<sup>17</sup> Este punto se desarrolla en el Capítulo 2.

<sup>18</sup> El informe del Grupo de los 30 (1993) sobre la negociación y gestión del riesgo asociado a los derivados delinea estos nuevos principios a partir de los años 1990; este documento es de los primeros que recomienda el uso de técnicas basadas en la estimación del valor en riesgo y proporciona un marco para el debate sobre la gestión de los riesgos (Holton 2014, sec. 1.9.4; Jorion 2007, 18)



## 1.5 Los modelos VaR en la regulación

La necesidad de gestionar el riesgo relacionado con el aumento de la exposición al riesgo de mercado, unido a la creciente negociación de instrumentos tradicionales y derivados impulsan la búsqueda de nuevos métodos de gestión, entre los cuales los modelos VaR ganan rápidamente un lugar destacado, como práctica y filosofía de gestión. Anteriormente los métodos de control del riesgo de mercado consistían en un marco de límites a las posiciones individuales y agregadas en base a distintas medidas de sensibilidad como duración, beta o griegas para las opciones, frente a los cuales, los modelos VaR han sido considerados a menudo una alternativa más adecuada (Rowe 2013; Jorion 2007, 16).

La popularidad de la metodología VaR aumenta vertiginosamente después de la comercialización de las plataformas informáticas y los datos para implementar RiskMetrics, un modelo VaR diseñado por un equipo del banco J.P. Morgan en los años 1990 (Holton 2014, sec. 1.9.5; Jorion 2007, 22; Vilariño 2001, 126; Alexander 1996). El nacimiento de RiskMetrics está incorporado al folclore de la industria financiera: la metodología surge como respuesta del departamento de riesgos de JP Morgan a la petición de Dennis Weatherstone, presidente de la entidad en ese momento, de conocer la exposición diaria al riesgo de mercado, expresada como el importe que podría perder la entidad al día siguiente por los movimientos de los precios de mercado (CBSB 2003). La posibilidad de calcular el capital regulatorio en base al VaR, en el contexto del aumento de la presión reguladora en el ámbito del riesgo de mercado, contribuye también a extender su uso.

Algunos autores mencionan que antes de la comercialización masiva de RiskMetrics había habido desarrollos incipientes de modelos de tipo VaR en otras empresas financieras (Jorion 2007, cap. 1; Holton 2014, sec. 1.9.2; Sollis 2009, 400). Acerca de los primeros modelos desarrollados en los bancos Holton (2014, sec. 1.9.2) referencia cartas entre bancos y la SEC documentando la existencia de modelos internos para la gestión del riesgo de mercado y documentos publicados en los años 1980 por bancos de EEUU como Bankers Trust o Chase Manhattan Bank, que contienen descripciones de modelos VaR para instrumentos de renta

fija. Sollis (2009, 400) apunta que las investigaciones en el seno de Bankers Trust de mediados de los años 1980 son el origen del método paramétrico<sup>19</sup>.

La adopción de los modelos VaR en los bancos y en la regulación es coherente con el apoyo institucional a las innovaciones financieras de las últimas décadas proporcionado a la industria financiera desde el ámbito académico, político y desde la mayoría de los organismos reguladores. Los lobbies bancarios apoyan a su vez el método basado en modelos internos para calcular las nuevas exigencias de capital para riesgo de mercado (CBSB 1995a; CBSB 1995b; CBSB 1995c). El auge de la teoría de los mercados eficientes tuvo un papel importante en la introducción de los modelos VaR en la regulación, y posteriormente de los modelos internos para otras categorías de riesgo, y en la popularización de la “autorregulación”. El paradigma de los mercados eficientes defiende que los mercados financieros son eficientes desde el punto de vista informacional y, por extensión, que existen de fuertes incentivos para que las entidades mejoraran su gestión interna del riesgo ante el escrutinio y potenciales sanciones del mercado en caso contrario. Las ideas defensoras de la autorregulación permearon tanto los bancos centrales como el discurso político (Tarullo 2008; Turner 2009, sec. 1.4; Vilariño 2011a, cap. 2) y crearon un clima favorable para la adopción de los otros modelos que los bancos pueden desarrollar internamente (o cuyos parámetros pueden estimar con los métodos de su elección) para calcular el capital regulatorio para riesgo de crédito, contraparte u operacional.

## **1.6 Panorámica del capital regulatorio para riesgo de mercado en la composición del capital regulatorio total del sector bancario de la Unión Europea**

Basilea II define los instrumentos admisibles para computar como capital regulatorio, divididos en tres categorías:

---

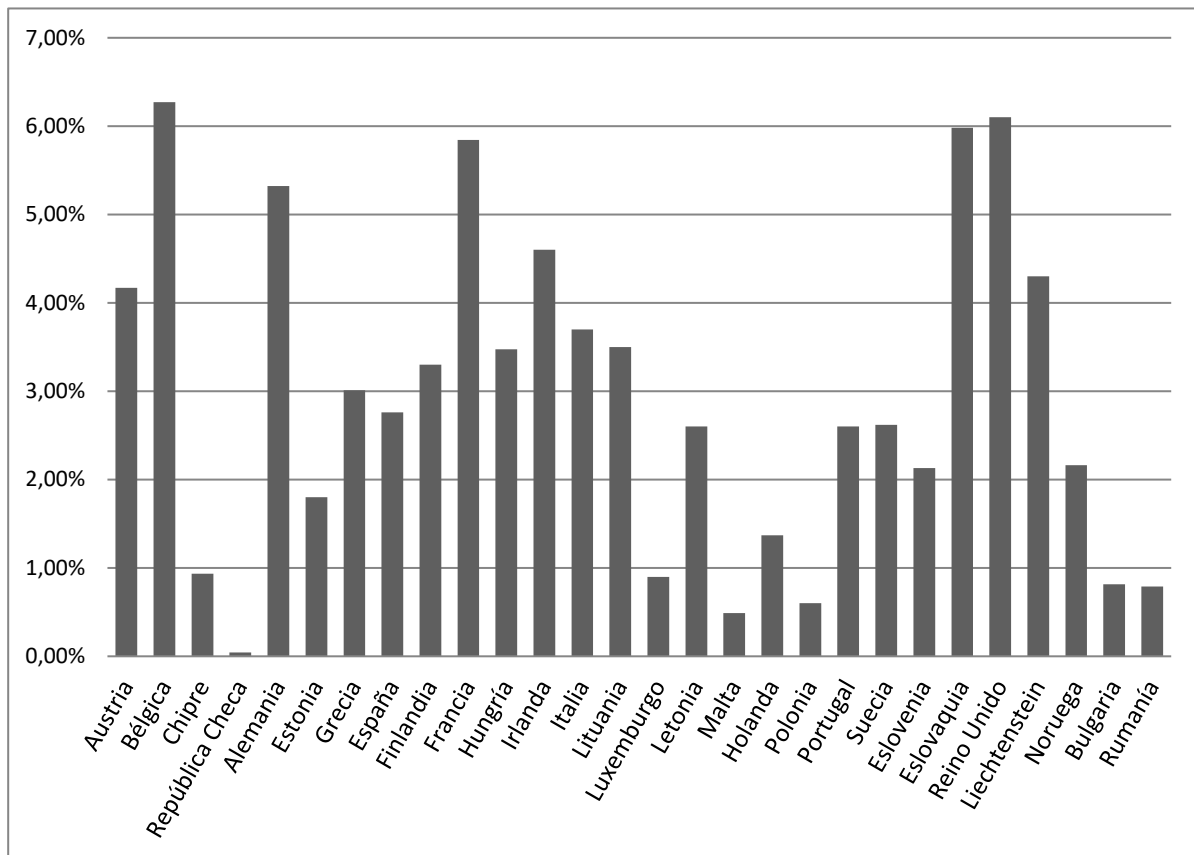
<sup>19</sup> En Holton (2014, cap. 1) se pueden consultar más detalles acerca de la literatura y acontecimientos que contribuyen al desarrollo de la metodología VaR.

- Capital de Nivel 1 o *core capital*: el capital social, acciones ordinarias emitidas por el banco y acciones preferentes perpetuas no acumulativas, junto con las reservas declaradas procedentes de beneficios no distribuidos,
- Capital de nivel 2 o complementario: reservas no declaradas, reservas de revalorización, provisiones genéricas, instrumentos híbridos de deuda/capital y deuda subordinada a plazo, según quedan definidos estos instrumentos en la regulación y sujetos a la aprobación de los reguladores nacionales (CBSB 2006c, párr. 49 iv-xii; CBSB 2006c Anexo 1a)
- Capital de nivel 3: deuda subordinada a corto plazo con posibilidad de ser destinada únicamente para satisfacer una parte del capital exigido para riesgos de mercado, sujeto a una serie de condiciones y también a la discrecionalidad de la autoridad supervisora nacional (CBSB 2006c, 49 xiii)

A partir de 2008 la Autoridad Bancaria Europea (ABE) publica datos sobre el reparto del capital regulatorio entre los distintos tipos de riesgos, y los métodos de cálculo del mismo a nivel agregado, para los sistemas bancarios de la mayoría de los países de la Unión Europea. Precisamos que el grado de información que proporcionan los datos con este nivel de agregación es muy limitado y es imposible realizar cualquier análisis cualitativo o comparativo de los riesgos a los que existe exposición en cada país. Esto se debe a la heterogeneidad de los instrumentos que pueden encontrarse en las carteras de negociación y la variedad modelos de riesgo y valoración susceptibles de ser aplicados en cada entidad. El nivel de capital regulatorio depende de los métodos utilizados para calcularlo y el porcentaje en el capital regulatorio total depende a su vez de los métodos que se hayan utilizado para otras categorías de riesgo. Lo que permiten los datos disponibles es ilustrar una visión panorámica sobre algunos elementos relacionados con el riesgo de mercado y el capital regulatorio, que se presentarán en los Gráficos 1.1 y 1.2 a continuación.

Según la ABE, en 2008 el capital para riesgo de mercado se situaba entre el 0,2 y un poco más del 6% del capital regulatorio total mantenido en los distintos sistemas bancarios (Gráfico 1.1). En algunos casos estos porcentajes sufren grandes modificaciones en los años posteriores para los que existen datos, como en el caso del Reino Unido, donde en 2009 se alcanza el 12% o Estonia, que en 2009 se sitúa en el 8%.

Gráfico 1.1 Capital mínimo regulatorio (CMR) por riesgo de mercado en CMR Total 2008\*

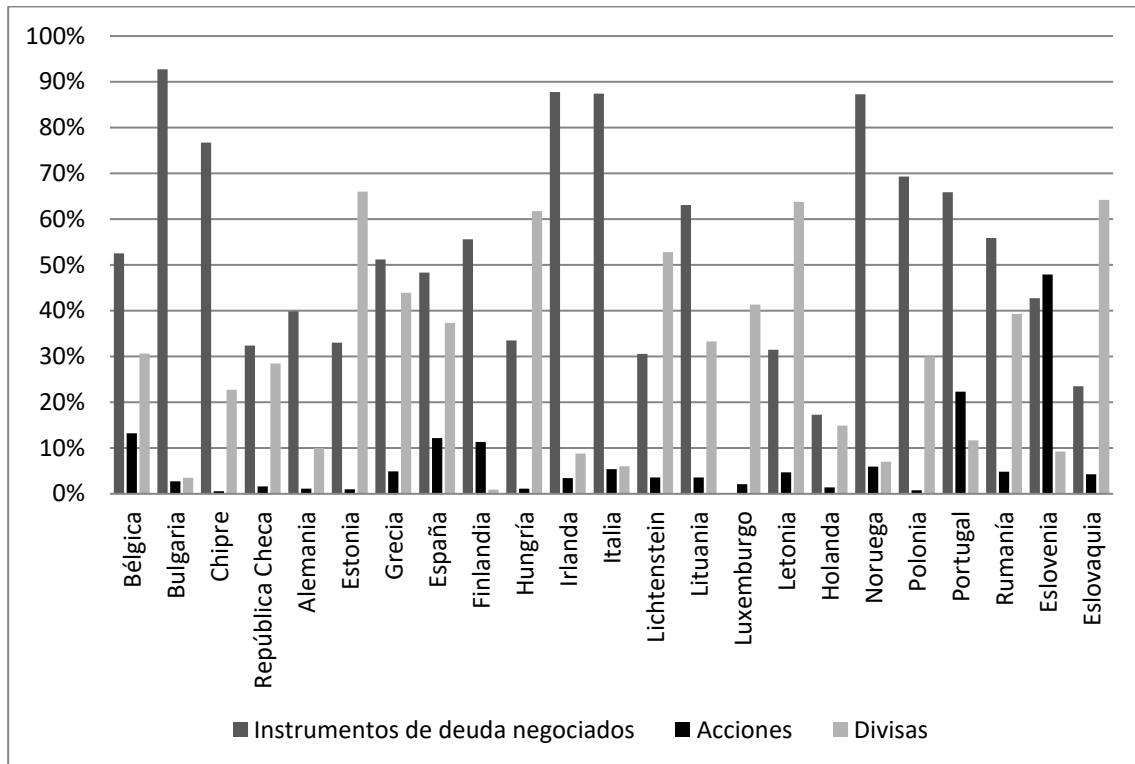


\* Para Finlandia, Irlanda, Italia, Noruega y Holanda se han utilizado datos del 2009, debido a que no existe información sobre el año anterior. No se recogen los países para los que no se proporcionan datos en 2008 o 2009. Elaboración propia a partir de:

<https://www.eba.europa.eu/supervisory-convergence/supervisory-disclosure/aggregate-statistical-data>

Del total del capital para riesgo de mercado, el mayor porcentaje de capital corresponde a los instrumentos de deuda negociados, seguidos por divisas y por último acciones (Gráfico 2.2). El capital asignado a los *commodities* (materias primas) es residual y no se proporciona información por tipos de instrumentos derivados o desglose de la categoría bonos.

Gráfico 1.2 Capital mínimo regulatorio para riesgo de mercado por instrumentos 2008\*



\*Para Finlandia, Noruega y Holanda se han utilizado datos de 2009

No se recogen los países para los que no se proporcionan datos en 2008 o 2009 o los casos en los que los datos son inconsistentes. Elaboración propia a partir de:

<https://www.eba.europa.eu/supervisory-convergence/supervisory-disclosure/aggregate-statistical-data>

# Capítulo 2. Tratamiento regulatorio y tipología de modelos VaR

## 2.1 Introducción

En el presente capítulo se analizan las normas que regulan el cálculo del capital regulatorio para los instrumentos de la cartera de negociación en base a los modelos VaR, los requisitos que la regulación establece para que los bancos reciban la autorización de emplear los modelos internos y los aspectos relacionados con la valoración de dichos instrumentos y la composición de la cartera de negociación. Se exponen también, de manera esquemática, las principales características de las principales categorías de modelos VaR que se pueden emplear para el cálculo del capital regulatorio.

Las normas analizadas son las que publica el Comité de Basilea en las normas de Basilea II y las adoptadas por la Comisión de Mercado de Valores de Estados Unidos<sup>20</sup> para los bancos, o entidades pertenecientes a bancos, que desarrollaban actividades de negociación en Estados Unidos. El Pilar I de Basilea II incluyen la definición de la cartera de negociación, los principios que se deben seguir en la valoración de los instrumentos financieros asignados a dicha cartera y varios requisitos acerca de la organización de los sistemas internos de control de los riesgos, que se aplican tanto para el método estándar, como para los modelos internos. En los apartados del método basado en modelos internos se indican otros requisitos adicionales sobre el uso de los modelos, como el tamaño mínimo aceptado para las muestras de datos utilizados para estimar el VaR, el horizonte y la frecuencia con la que se debe medir el riesgo y la manera de calcular el capital regulatorio en base a los modelos. La regulación de la Comisión de EEUU que se recoge en este capítulo consta del texto de una enmienda a las normas existentes en EEUU en el año 2004 para el cálculo del capital regulatorio por riesgo de mercado. El objetivo que se persigue en los siguientes apartados es dar una panorámica de los aspectos que consideramos más directamente relacionados con la manera en la que las normas prevén que los bancos gestionen sus carteras de negociación

---

<sup>20</sup> La *Securities and Exchange Commission*, que a continuación se abreviará como SEC o “la Comisión”.

y utilicen sus modelos VaR para que reciban la autorización de emplearlos para calcular sus requerimientos de capital.

Para cumplir con los objetivos de la investigación, es fundamental analizar conjuntamente las características de los modelos matemáticos utilizados en la medición del riesgo de mercado y las principales características de las normas de la cartera de negociación que comprenden el marco de aplicación de los modelos y las pautas para llevar a cabo la gestión de los riesgos de los instrumentos de dicha cartera.

## **2.2 El marco para la medición del riesgo**

### **2.2.1 La cartera de negociación**

El capital regulatorio por riesgo de mercado se debe computar para todos los instrumentos asignados a la cartera de negociación. En el caso de las divisas y materias primas los requerimientos se calculan con respecto a las posiciones totales (dentro y fuera de la cartera de negociación). El párrafo 685 define la cartera de negociación como sigue:

Párr. 685: Una cartera de negociación se compone de posiciones en instrumentos financieros y en productos básicos mantenidas con fines de negociación o al objeto de cubrir otros elementos de la cartera de negociación. Para ser admisibles en el tratamiento de capital regulador para la cartera de negociación, los instrumentos financieros deberán estar libres de toda cláusula restrictiva sobre su negociabilidad, o bien deberán poder recibir una cobertura total. Además, las posiciones deberán valorarse con frecuencia y precisión y la cartera deberá ser gestionada de forma activa.

Las referencias a la necesidad de valorar con precisión o prudencia las posiciones de la cartera de negociación son frecuentes en la regulación. La valoración no es problemática en el caso de las acciones o bonos que cotizan en mercados bursátiles o cualquier instrumento para el que existen precios públicos disponibles en plataformas especializadas, que se corresponden a los precios a los que se realizan las compras y ventas de dichos instrumentos. La dificultad reside en la valoración de las posiciones sin liquidez. A su vez, dependiendo del instrumento, la contratación de una cobertura total, puede no ser posible. Estos temas se tratan en el apartado 2.2.2.

Los instrumentos asignados a la cartera de negociación pueden ser instrumentos financieros “básicos” o derivados (Párr. 686). Según la definición regulatoria, la cartera de negociación comprende aquellos instrumentos que los bancos compran y venden buscando beneficiarse a corto plazo por las variaciones de sus precios o diferencias que existen entre los precios de compra y de venta.

Párr. 687: Las posiciones mantenidas con fines de negociación son aquellas que se mantienen ex profeso para su reventa a corto plazo y/o con el propósito de aprovechar fluctuaciones de los precios, reales o esperadas, a corto plazo, o de obtener beneficios procedentes del arbitraje. Podrían incluirse la toma de posiciones por cuenta propia o como consecuencia de la prestación de servicios a clientes (como “*matched principal broking*”, es decir, compras y ventas simultáneas efectuadas por cuenta propia) o de la creación de mercado.

El plazo exacto no se define en las normas de Basilea, pero algunos reguladores nacionales fijan periodos máximos de tenencia de los instrumentos asignados a la cartera de negociación; por ejemplo, el Banco de España fijaba el límite superior en 3 meses.

Se exige que la asignación de posiciones a la cartera de negociación se rija por políticas y procedimientos documentados, que tomen en cuenta “la capacidad del banco para gestionar riesgos y las prácticas empleadas para ello” y que sean sujeto a auditorías internas periódicas (Párr. 687(i)). Se ofrece a continuación una lista de “aspectos mínimos” que dichas políticas deben reflejar, entre los cuales se mencionan:

Párr. 687(ii). [...]

- Las actividades que el banco considera como negociación y que por lo tanto se incluyen en su cartera de negociación con fines de capital regulador;
- Hasta qué punto una posición puede valorarse diariamente a precios de mercado tomando como referencia un mercado activo, líquido y bidireccional;
- Para posiciones valoradas mediante un modelo, hasta qué punto el banco puede:
- Identificar los riesgos significativos de la posición;
- Cubrir los riesgos significativos de la posición y en qué medida los instrumentos de la cobertura tendrían un mercado activo, líquido y bidireccional;
- Obtener estimaciones fiables de los principales supuestos y parámetros utilizados en el modelo.
- Hasta qué punto el banco puede y tiene que obtener valoraciones para la posición que pueda validarse externamente de un modo consistente;
- Hasta qué punto las restricciones legales u otras exigencias operativas impedirían al banco efectuar la liquidación inmediata de la posición;
- Hasta qué punto se le exige al banco, y éste a su vez puede, gestionar activamente el riesgo de la posición dentro de sus operaciones de negociación; y



- Hasta qué punto el banco puede transferir riesgo o exposiciones al riesgo entre las carteras bancaria y de negociación y los criterios para hacerlo.

En el párrafo 688 se detallan las políticas y procedimientos que deben documentar los bancos acerca de cómo se gestionan las posiciones de negociación y se hace referencia a la responsabilidad de la Alta Dirección en aprobar la estrategia de negociación de la entidad.

688. Los requisitos básicos que habrán de satisfacer las posiciones para ser admisibles en el tratamiento de la cartera de negociación a efectos de capital regulador son los siguientes:

- Estrategia de negociación claramente documentada para la posición/instrumento o las carteras y aprobada por la Alta Dirección (incluyendo el horizonte de mantenimiento esperado).
- Políticas y procedimientos claramente definidos para la gestión activa de la posición, para asegurarse de que:
  - las posiciones son gestionadas por un equipo de negociación;
  - se fijan límites a las posiciones y se supervisan para comprobar su adecuación;
  - el personal encargado de la negociación cuenta con autonomía para tomar/gestionar posiciones dentro de los límites acordados y respetando la estrategia convenida;
  - las posiciones se valoran a precios de mercado al menos diariamente y, en el caso de que se valoren según modelo, los parámetros se evalúan con una periodicidad diaria;
  - se informa a la Alta Dirección de las posiciones mantenidas como parte integral del proceso de gestión de riesgos de la institución; y
  - se lleva a cabo un seguimiento activo de las posiciones con referencia a las fuentes de información del mercado (deberá realizarse una evaluación de la liquidez del mercado o de la capacidad para cubrir las posiciones o de los perfiles de riesgo de la cartera). Este seguimiento incluiría una evaluación de la calidad y disponibilidad de los inputs que pueda aportar el mercado al proceso de valoración, del volumen de negocio del mercado, del importe de las posiciones negociadas, etc.

Gran parte de las normas se formulan como principios generales o “aspectos mínimos” (similares a los anteriores párrafos) a seguir por los bancos en el desarrollo de políticas y procedimientos concretos para la gestión de sus carteras de negociación. Muchos de estos principios recogen las buenas prácticas de la gestión de riesgos, tales como documentar la estrategia de negociación, los procesos seguidos en la valoración y medición de riesgos, asegurar la dotación de recursos, capacitación y delegación de competencias a los departamentos de riesgo y auditoría para que lleven a cabo las labores de gestión y control, asegurar la independencia de los departamentos de riesgo de las áreas comerciales, o la participación activa de los consejos directivos en la gestión del riesgo.

Sin embargo, la necesidad de aplicar los principios generales a casos concretos que surgen en la práctica, exige una interpretación de los mismos que, según el caso, no es trivial y para la cual las normas no proporcionan detalles. Este aspecto es relevante para el personal de los bancos encargado de implementar las normas y es fundamental en el proceso de validación de las prácticas de las entidades financieras por parte de los supervisores. La valoración con modelos de los instrumentos de la cartera de negociación es un ejemplo muy relevante en este sentido, como lo son también el tratamiento de la exposición al riesgo de liquidez y riesgo de crédito de los instrumentos de la cartera de negociación.

Como se ha señalado en el capítulo anterior, el papel que las normas del Comité otorgan al gobierno corporativo en la gestión interna de los riesgos es muy importante. El “gobierno corporativo” incluye las juntas directivas de los bancos y la alta dirección, aunque la manera exacta en la que se organizan estas estructuras pueden ser distinta en cada país o entidad (CBSB 2015b). El párrafo 688 señala que la estrategia de negociación de cada entidad debe ser aprobada por la alta dirección, que deberá estar informada acerca de las posiciones mantenidas, como parte integral del proceso de gestión de riesgos. Otras menciones similares se encuentran en varias secciones de la regulación.

En el párrafo 692 del apartado “orientaciones para una valoración prudente” se indica que la información acerca de la valoración de los instrumentos valorados con modelos “deberá llegar en última instancia hasta un miembro ejecutivo del consejo de administración”. El párrafo 695 del mismo apartado recoge aspectos que las autoridades supervisoras deben tomar en cuenta para determinar si las valoraciones se realizan con prudencia. Uno de los puntos indica: “La Alta Dirección deberá conocer qué elementos de la cartera de negociación están valorados según modelo y ser conscientes de la incertidumbre que ello crea en la información sobre el riesgo/rendimiento del negocio”.

Asimismo, los estándares cualitativos del método de modelos internos exigían que la gestión del riesgo integrara todos los niveles jerárquicos, desde el departamento de riesgos interno hasta el nivel de los directivos y representantes de los accionistas.

Párr. 718(Lxxvi), *Estándares cualitativos*:

(d) “El Consejo El Consejo de Administración y la alta gerencia participarán activamente en el control de riesgo, al que deben considerar como un aspecto esencial del negocio comercial

al que deberán consagrar suficientes recursos. En este sentido, los informes diarios preparados por la unidad independiente de control del riesgo deberán ser revisados por un alto cargo con suficiente experiencia y autoridad como para autorizar tanto la reducción de las posiciones tomadas por agentes individuales como la reducción de la exposición general del banco al riesgo. Éstos últimos son responsables de tomar decisiones sobre el perfil de riesgo de la entidad, en base a la información elaborada por el departamento de riesgos.

En los puntos e)-h) se indica que las técnicas empleadas en la medición de riesgos deben ser documentadas en un manual de gestión de riesgos y que el modelo debe ser expuesto periódicamente a pruebas de tensión para detectar vulnerabilidades especiales y cuyos resultados deben ser comunicados a la dirección y los Consejos de Administración que deben tomar las medidas consideradas necesarias para reducir las exposiciones consideradas excesivas o aumentar el capital.

(g) [...] La alta gerencia deberá revisar con regularidad los resultados de las pruebas de tensión, los cuales deberán utilizarse para la evaluación interna de la suficiencia de capital y verse reflejados en las políticas y límites establecidos por la dirección y el Consejo de Administración [...] <sup>21</sup>.

### **2.2.2 Valoración de los instrumentos de la cartera de negociación**

Todos los activos y pasivos pertenecientes a la cartera de negociación se deben registrar diariamente en el balance a su valor razonable. El valor razonable es el precio de mercado en caso de que el instrumento cotice en un mercado activo y, en caso contrario, es el valor estimado con un modelo de valoración. Un mercado se considera activo si la frecuencia de negociación de un instrumento y el volumen de negociación son elevados, y no existen operadores con “poder de mercado”, es decir, no existen operadores que puedan influir de forma relevante sobre los precios en base a sus operaciones. Ejemplos típicos son los grandes mercados bursátiles de acciones o algunos mercados de deuda pública (pero dependiendo del país y las referencias consideradas).

El aumento de las actividades de negociación de los bancos en las últimas décadas ha traído consigo un aumento de las operaciones realizadas en mercados extra-bursátiles u OTC por parte de bancos comerciales, bancos de inversión, sociedades de valores, empresas, fondos

---

<sup>21</sup> Véase más acerca del planteamiento del Comité de Basilea acerca de estos temas en el pilar II, *Principios básicos del examen supervisor*

de pensiones, fondos de inversión y otros agentes públicos y privados. En estos mercados se negocia una gran cantidad y diversidad de instrumentos financieros que no gozan de mercados secundarios: una vez realizada la compra-venta entre las contrapartes iniciales, los instrumentos OTC permanecen en los balances de los mismos. La contratación de instrumentos en estos mercados se puede realizar con fines especulativos o de cobertura, y las características de cada operación son negociadas entre las contrapartes, siendo los precios conocidos sólo por dichas contrapartes en la mayoría de los casos. En el caso de algunos derivados, fundamentalmente forwards y swaps, el precio inicial es cero en la fecha de contratación, aunque en las fechas posteriores, el cambio en las variables que determinan los pagos contractuales, hacen que su precio no se pueda considerar nulo. En otros instrumentos, opciones y notas estructuradas, con precio inicial no nulo, pero sin liquidez, dichos precios iniciales pueden no ser representativos en fechas posteriores. El valor en los balances de los instrumentos líquidos mantenidos con fines de negociación se corresponde con su valor de mercado, pero la ausencia de liquidez de los instrumentos OTC y, por tanto, la ausencia de precios públicos que puedan ser tomados como referencia para un determinado instrumento, hace necesario estimar su precio por otros procedimientos.

Para estos casos existen las normas contables que definen el marco para la valoración de los instrumentos financieros ilíquidos basado en los modelos de valoración “generalmente aceptados” en los mercados. Las definiciones y aspectos conceptuales del valor razonable están comprendidas en las Normas Internacionales de Información Financiera (las NIIF o IRFS por la denominación en inglés *International Financial Reporting Standards*; a continuación, se utilizará el acrónimo NIIF). Las NIIF están elaboradas por el IASB (*International Accounting Standards Board*), una entidad privada con sede en Delaware, Estados Unidos, y desde el año 2001 se incorporan en las directivas contables de la Unión Europea de las que pasan a formar parte de las normas contables nacionales de todos los países de la Unión, siguiendo los procedimientos propios de en cada país<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> Sobre la legislación que comprende la adopción de las NIIF en la Unión Europea se puede consultar [http://ec.europa.eu/finance/accounting/ias/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/finance/accounting/ias/index_en.htm). En España las NIIF y sus predecesoras, las NIC (Normas Internacionales de contabilidad), están comprendidas en las normas contables del Banco de España y en el Plan General de Contabilidad de España del Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas (ICAC) de

En el epígrafe de *Definiciones* de la IAS 39 el valor razonable se define del siguiente modo: “Valor razonable es la cantidad por la que puede ser intercambiado un activo o cancelado un pasivo entre un comprador y un vendedor interesados y debidamente informados, en condiciones de independencia mutua” (Vilariño 2011a, 29).

Posteriormente en el epígrafe *Consideraciones respecto a la valoración a valor razonable*, se desarrolla el concepto anterior y se indica que los párrafos GA69 a GA82 del Apéndice A forman parte de la Norma. El numeral 48 A señala:

“La mejor evidencia del valor razonable son los precios cotizados en un mercado activo. Si el mercado de un instrumento financiero no fuera activo, la entidad determinará el valor razonable utilizando una técnica de valoración. El objetivo de utilizar una técnica de valoración es determinar el precio de transacción que se hubiera alcanzado en un intercambio entre partes que actúen en condiciones de independencia mutua, realizado en la fecha de valoración, y motivado por circunstancias normales del negocio. Entre las técnicas de valoración se incluye el uso de transacciones de mercado recientes entre partes interesadas y debidamente informadas que actúen en condiciones de independencia mutua, si estuvieran disponibles, así como las referencias al valor razonable de otro segmento financiero sustancialmente igual, el descuento de flujos de efectivo y los modelos para valorar las opciones. Si existiese una técnica de evaluación comúnmente utilizada por los participantes en el mercado para determinar el precio, y se hubiese demostrado que suministra estimaciones fiables de los precios obtenidos en transacciones recientes de mercado, la entidad utilizará dicha técnica. La técnica de valoración escogida hará uso, el máximo grado, de informaciones obtenidas en el mercado, utilizando lo menos posible datos estimados por la entidad. Incorporará todos los factores que considerarían los participantes en el mercado para establecer el precio, y será consistente con las metodologías económicas generalmente aceptadas para calcular el precio de los instrumentos financieros. Periódicamente, la entidad revisará la técnica de evaluación y comprobará su validez utilizando precios procedentes de cualquier transacción reciente y observable de mercado sobre el mismo instrumento (es decir, sin modificaciones ni cambios de estructura), o que estén basados en cualquier dato de mercado observable y disponible.”

En función de los datos utilizados para determinar el valor razonable, los instrumentos financieros se clasifican en tres niveles:

- Nivel 1: instrumentos que cotizan en mercados activos y para los que existen precios diarios; son los instrumentos para los que el valor razonable es el precio de mercado.
- Nivel 2: instrumentos que no cotizan en mercados activos, pero existen precios cotizados en mercados activos para activos o pasivos similares, o instrumentos que

---

España. La norma de referencia para el valor razonable es la NIIF 9, publicada en 2014, que reemplazará a partir de 2018 a la actual NIC 39.

se valoran con otras técnicas de valoración para las cuales todos los *inputs* (datos) importantes se basan en datos de mercado que son observables.

- Nivel 3: instrumentos que se valoran con técnicas de valoración para las cuales existan *inputs* importantes que no son observables.

Un ejemplo de instrumentos negociados en mercados activos son las acciones de las grandes empresas, de las que todos los días se compran y venden volúmenes importantes, las divisas, o algunos títulos de deuda pública muy líquidos (las referencias más negociados en cada país pueden tener características distintas en cuanto al plazo residual, cupones fijos o variables, indexación a la inflación, etc.), o los derivados que se negocian en mercados organizados. En mercados OTC se pueden negociar distintos tipos de instrumentos financieros, entre los cuales derivados, titulizaciones o productos estructurados, pero también otros tipos de bonos no procedentes de titulizaciones o acciones. En estos mercados tienen protagonismo los inversores institucionales y los grandes bancos comerciales y de inversión.

Entre los instrumentos de nivel 2 y 3 se cuentan instrumentos sin liquidez, pero cuyo valor puede estar estrechamente ligado a la evolución de variables líquidas o instrumentos sin liquidez que basan los flujos de caja que pagan a los inversores en la evolución de subyacentes que, a su vez, no cotizan en mercados secundarios activos. En la primera categoría se encuentran por ejemplo todos los derivados OTC sobre acciones, divisas, bonos con liquidez, índices bursátiles, tipos de interés u otras variables para las que existen precios diarios y grandes volúmenes de negociación. La segunda categoría incluye a los derivados de crédito, las titulizaciones de créditos hipotecarios o de otras categorías de créditos concedidos a empresas o personas físicas, para consumo o estudios, o titulizaciones basadas en flujos procedentes de peajes de autopistas, contratos de leasing de vehículos, derechos de propiedad de producciones audio-visuales, así como otros derivados sobre subyacentes que no cotizan en mercados bursátiles.

El párrafo 690 del apartado “Orientaciones para una valoración prudente” menciona que “estas pautas [para conseguir una valoración prudente] son especialmente importantes para las posiciones menos líquidas que, si bien no se excluirán de la cartera de negociación únicamente por contar con una menor liquidez, preocupan a los supervisores desde el punto de vista de su valoración prudente”. Los instrumentos de nivel 2 o 3 son susceptibles, por

tanto, de ser clasificados en la cartera de negociación, lo que refleja la exposición de la misma a varios tipos de riesgos: de mercado, de valor razonable, liquidez, crédito/contraparte y los riesgos asociados al uso de modelos de valoración y modelos riesgo.

1. Riesgo de mercado, procedente de todos los productos líquidos, que se negocian en grandes volúmenes en mercados organizados y cuyo precio se puede observar a diario

2. Riesgo de valor razonable, que generan todos los instrumentos ilíquidos valorados con modelos cuyo valor depende de otros instrumentos líquidos. Para la medición del riesgo de valor razonable es relevante el cambio que se puede producir en el valor calculado con modelos y que pueden generar pérdidas, independientemente de las técnicas de valoración empleadas. En los casos en los que los modelos de valoración emplean parámetros que se estiman utilizando datos de mercado, se puede realizar una estimación de las pérdidas potenciales a corto plazo, a través de los modelos de riesgo. El comportamiento de los modelos de riesgo se puede contrastar a posteriori con las pérdidas reales. En el caso de los instrumentos cuyos subyacentes son ilíquidos, no es pertinente hablar de riesgo de valor razonable, aunque estos instrumentos estén registrados en el balance a un valor calculado con modelos que también está sujeto a cambios que pueden acarrear pérdidas de valoración. La diferencia reside en que dichos cambios de valor (independientemente de las técnicas de valoración empleadas) responden a la materialización de otros riesgos, eminentemente el riesgo de crédito.

3. Riesgo de liquidez, debido a la presencia de instrumentos financieros que se valoran con modelos, de nivel 2 o 3. Para estos productos el cierre de las posiciones o la contratación de coberturas depende de la existencia de contrapartes dispuestas a realizar dichas operaciones, que pueden no existir para todos los instrumentos, o desaparecer en momentos de tensión, ante el deterioro de factores que influyen en el valor de dichos instrumentos.

4. Riesgo de crédito, presente en todos los instrumentos en los que los flujos de efectivo a los que tienen derecho los inversores dependen del cumplimiento de las obligaciones de pago de los emisores. Estos pueden ser bonos corporativos o de deuda pública o bonos de titulización o productos estructurados. En los instrumentos procedentes de titulizaciones de

préstamos el riesgo de crédito está relacionado con la calidad crediticia de los emisores de los bonos y de los acreditados de los préstamos subyacentes. El riesgo de contraparte de los derivados extrabursátiles está relacionado con el posible incumplimiento de la contraparte que tiene la obligación de efectuar el pago, contingente, estipulado en el contrato. Para riesgo de contraparte Basilea II exigía el mantenimiento de capital regulatorio (Párr. 702-708). Para el riesgo de crédito de los instrumentos de la cartera de negociación, incluidas las titulizaciones, se hacen varias recomendaciones en el apartado dedicado al riesgo específico (párrafos 718(Lxxxvii) a 718(xcviii)).

5. El empleo de modelos en la valoración implica aceptar un marco en el que es necesario trabajar con un número reducido de variables y supuestos simplificadores acerca de dichas variables o de las relaciones entre las mismas. Esto da lugar al riesgo de modelo, que, según apuntábamos en el primer capítulo, se refiere a la ausencia en los modelos de variables o relaciones entre variables que son relevantes para determinar el valor de un instrumento (aunque no fueran variables observables).

En un documento del año 2005, el Comité menciona el aumento de los instrumentos ilíquidos y expuestos al riesgo de crédito en las carteras de negociación: “Desde que la Enmienda por riesgo de mercado entró en vigor, se han clasificado en la cartera de negociación más productos relacionados con el riesgo de crédito que incluyen CDS (*credit default swaps* o derivados de crédito) y tramos de CDO (*collateralized debt obligations*) lo que lleva a un aumento del riesgo de incumplimiento, que se debería captar por los modelos de riesgo específico<sup>23</sup>, pero que no se captan adecuadamente con el VaR. Aparte de los productos relacionados con el riesgo de crédito, se mantienen en la cartera de negociación otros productos estructurados y exóticos. Estos productos son menos líquidos y dan lugar a riesgos que no estaban contemplados cuando se diseñó el marco por riesgo de mercado [...] Se espera que el aumento en el riesgo de crédito y liquidez aumentará [...]” (CBSB 2005a, párr. 267-69).

---

<sup>23</sup> Los bancos que recibían la autorización para el cálculo del capital regulatorio con modelos VaR debían demostrar a los reguladores que sus modelos captaban el riesgo específico o disponer de sistemas adicionales para ello.



También en 2005, el Comité publicó los resultados de una encuesta dirigida a 47 bancos de países pertenecientes al G-10 sobre el tratamiento de los instrumentos de la cartera de negociación donde se detecta la presencia de varios tipos de instrumentos ilíquidos (CDO, derivados de crédito, derivados exóticos, deuda sin liquidez, préstamos pendientes de titulizar, entre otros) (CBSB 2005b). Se estima que los productos relacionados con riesgo de crédito y los derivados exóticos representaban en ese momento un 15% del total de la cartera de negociación. En este documento se menciona también que los instrumentos valorados a valor razonable de nivel 2 y 3 conforman gran parte de la cartera de negociación. Los instrumentos a valor razonable de nivel 2 y 3 representaban un 30% en términos brutos sobre el total de las posiciones y un 85% en términos netos<sup>24</sup> y se menciona asimismo que los resultados de valoración varían en función de los inputs utilizados (*ibid*, Nota 6)

El peso en los balances de los instrumentos financieros valorados con modelos y técnicas generalmente aceptadas es muy relevante en la gran mayoría de los bancos internacionales. Los tipos de instrumentos valorados a valor razonable pueden ser muy distintos, en función del modelo de negocio de cada banco y, a su vez, estos instrumentos pueden estar clasificados en la cartera de negociación o en la bancaria (que comprende todos los instrumentos que no se han asignado a la cartera de negociación). La posibilidad los instrumentos de la cartera de negociación reciban una cobertura total, depende tanto del tipo de instrumento como de las condiciones de mercado y puede darse la situación de que no existan instrumentos para cubrir algunos de los riesgos o de que, en determinadas situaciones estresadas, el coste de contratar la cobertura sea prohibitivo.

En las Tablas 2.1 y 2.2 se presentan datos sobre los instrumentos contabilizados a valor razonable extraídos de las memorias del año 2013 y 2014 de 10 bancos pertenecientes a la lista de entidades sistémicas que publica el Consejo de Estabilidad Financiera (FSB 2015) en base a la metodología del Comité de Basilea (CBSB 2013). Los datos proceden de los estados financieros consolidados de cada entidad y para las entidades cuya divisa funcional no es el euro se han convertido los importes a los tipos de cambio del 31 de diciembre de 2013.

---

<sup>24</sup> No se especifica cómo se ha obtenido el valor neto.

Tabla 2.1 Activos y pasivos valorados a valor razonable por niveles 2013 (millones €)

	<b>HSBC</b>	<b>J.P. Morgan</b>	<b>Barclays</b>	<b>BNP Paribas</b>	<b>Citigroup</b>
<b>Total</b>	<b>1.151.369</b>	<b>2.299.922</b>	<b>1.232.845</b>	<b>849.549</b>	<b>1.803.175</b>
Nivel 1	422.149	196.960	166.114	391.674	210.669
Nivel 2	715.946	2.028.083	1.020.103	433.802	1.544.074
Nivel 3	13.274	74.880	46.628	24.073	48.432
<b>Porcentajes</b>					
Nivel 1	37%	9%	13%	46%	12%
Nivel 2	62%	88%	83%	51%	86%
Nivel 3	1%	3%	4%	3%	3%
<b>Margen de error (m) calculado sobre el total instrumentos valoradas a VR</b>					
m=5%	36.461	105.148	53.337	22.894	79.625
<b>Beneficio neto</b>					
	12.907	12.996	1.569	5.421	9.934

Fuente: Memorias anuales 2014

Tabla 2.2 Activos y pasivos valorados a valor razonable por niveles 2013 (millones €)

	<b>Deutsche Bank</b>	<b>Bank of America</b>	<b>Bank of China</b>	<b>BBVA</b>	<b>Santander</b>
<b>Total</b>	<b>954.990</b>	<b>1.868.238</b>	<b>121.910</b>	<b>204.223</b>	<b>382.006</b>
Nivel 1	125.146	162.340	10.699	103.217	127.598
Nivel 2	800.811	1.675.941	107.512	100.073	252.841
Nivel 3	29.033	29.957	3.699	933	1.567
<b>Porcentajes</b>					
Nivel 1	13%	9%	9%	51%	33%
Nivel 2	84%	90%	88%	49%	66%
Nivel 3	3%	2%	3%	0,5%	0,4%
<b>Margen de error (m) calculado sobre el total instrumentos valoradas a VR</b>					
m=5%	41.492	85.295	5.561	5.050	12.720
<b>Beneficio neto</b>					
	1.456	11.431	19.616	2.836	5.524

Fuente: Memorias anuales 2014

Según los datos aportados en las memorias anuales de los años 2013 y 2014, en el año 2013, seis de los bancos elegidos valoraban con modelos internos de valor razonable entre el 80% y el 90% de los instrumentos contabilizados a valor razonable, correspondientes a los niveles 2 y 3. Estos bancos son JP Morgan, Barclays, Citigroup, Deutsche Bank, Bank of America y Bank of China. HSBC, Santander valoraban con modelos internos entre el 60 y el 80% de todos los instrumentos contabilizados a valor razonable. En el caso de BNP Paribas y BBVA este porcentaje es de alrededor del 50%.

La magnitud de los importes que corresponden a instrumentos valorados con modelos (mostrados en las Tablas 2.1 y 2.2) puede tener importantes repercusiones para el beneficio neto de las entidades: considerando, por ejemplo, un potencial margen de error del 5% en la valoración del saldo de instrumentos valorados con modelos, la actualización de los valores dentro del tramo negativo de dicho intervalo generaría una disminución del 66% del beneficio en el caso de Bank of China y superaría el beneficio de los otros bancos de la Tabla. Se observa de esta manera, cómo una variación relativamente pequeña del valor razonable estimado podría tener serias repercusiones sobre los beneficios y el capital de las entidades.

A efectos regulatorios, los requerimientos de capital de los instrumentos financieros contabilizados a valor razonable y clasificados en la cartera bancaria, son distintos de los establecidos para las posiciones de negociación. En función de la cartera en la que están clasificados, la repercusión en los cambios de valor de estos instrumentos se refleja en la cuenta de resultados o el patrimonio neto de la entidad. Los cambios de valor, positivos o negativos, de los instrumentos de la cartera de negociación se reflejan en la cuenta de pérdidas y ganancias del banco, mientras que, en la cartera bancaria, los cambios de valor se pueden ver reflejados tanto en el resultado como en el patrimonio neto (Tabla 2.3).

Ante una disminución del valor de los instrumentos de activo contabilizados a valor razonable (precio de mercado o valoración con modelos) el resultado o patrimonio se ve disminuido en un importe correspondiente a la disminución registrada en el valor del instrumento de activo (que es el precio de mercado del mismo en caso de ser un instrumento negociado en mercados activos). En caso de un aumento de su valor, dicho importe se suma al resultado total. Los cambios en el valor de los instrumentos de pasivo contabilizados a valor razonable se reflejan de manera opuesta en el resultado o patrimonio neto: un aumento en el valor del

instrumento de pasivo genera una pérdida (disminución del resultado o patrimonio del mismo tamaño que el aumento en el valor del instrumento de pasivo) y una disminución trae consigo una ganancia (un aumento del resultado o patrimonio).

Tabla 2.3 Reflejo de los cambios de valor de los instrumentos financieros contabilizados a valor razonable

<b>Cartera regulatoria</b>	<b>Forma de contabilización</b>	<b>Cambios de valor razonable</b>
Cartera de negociación	Valor razonable	Resultados
Cartera bancaria	Valor razonable y coste histórico	Resultados y patrimonio neto**

\*\* Según las nuevas normas emitidas después de la crisis, concretamente la NIIF 9, vigente a partir del 2018, el cambio de valor de los instrumentos valorados a valor razonable y pertenecientes a la cartera bancaria se reflejará únicamente en el patrimonio.

En todos los modelos generalmente aceptados de valoración intervienen parámetros no observables como la volatilidad de los cambios de los precios o tipos de interés de mercado, las tasas de dividendos futuras de las acciones, las probabilidades de incumplimiento de distintos emisores o prestatarios, correlaciones entre las distribuciones de probabilidad de las mismas o de las curvas cupón cero libre de riesgo que se utilizan para actualizar los flujos asociados a los instrumentos<sup>25</sup>. El empleo de una u otra técnica para la estimación de los parámetros puede generar diferencias importantes en los valores de un instrumento, aunque se parta de unos mismos datos observables (Vilariño 2011a). De este modo, la consideración de un margen de error en los valores estimados con modelos de los bancos de las Tablas 2.1 y 2.2 es justificada por la variación que puede haber en los resultados de una valoración en función de las metodologías empleadas.

El apartado “Orientaciones para una valoración prudente” se reducen a formulaciones generales o enumeración de factores “a tomar en cuenta” a la hora de realizar las

---

<sup>25</sup> En un documento de 2006 se recoge lo siguiente acerca de las dificultades de estimar el valor razonable de los instrumentos sin liquidez: “[...] los supervisores reconocen que existen retos en la implementación del valor razonable en el caso de los productos para los cuales no hay disponibles claras indicaciones de valor de mercado (facilidades de crédito tradicionales) o para los cuales el valor puede no ser relevante [...] En general, los supervisores expresan preocupación sobre el impacto del valor razonable en los niveles de capital a la luz de la subjetividad inherente en los métodos de valoración” CBSB (2006b, 15).

valoraciones, sin llegar a especificar criterios operativos para determinar en qué consiste una valoración “prudente” y “fiable” o como deben ser los sistemas y controles del proceso de valoración para que resulten “adecuados”.

692. El banco deberá establecer y mantener sistemas y controles que resulten adecuados para convencer a la dirección de la entidad y a los supervisores de que sus estimaciones de valoración son prudentes y fiables. Estos sistemas deberán estar integrados en otros sistemas de gestión de riesgos dentro de la organización (como el análisis del crédito). Dichos sistemas deberán incluir:

- Políticas y procedimientos documentados para el proceso de valoración. Esto incluye responsabilidades claramente definidas con respecto a las áreas que participan en la valoración, las fuentes de información de mercado y un examen de su adecuación, la frecuencia de valoración independiente, la secuencia temporal de los precios de cierre, los procedimientos de ajuste de las valoraciones, los procedimientos de verificación a final del mes y otros procesos puntuales; y
- Canales inequívocos e independientes (es decir, independientes de la sala de contratación) de transmisión de información al departamento responsable del proceso de valoración. El canal de información deberá llegar en última instancia hasta un miembro ejecutivo del consejo de administración.

En los párrafos 693-695 comprendidos en las del Comité señala:

Párr. 693: La valoración a precios de mercado consiste en estimar, al menos diariamente, el valor de las posiciones a precios de liquidación disponibles fácilmente y obtenidos de fuentes independientes. Se consideran precios disponibles fácilmente los precios efectivos de las operaciones, los precios de pantalla o las cotizaciones de diversos intermediarios independientes acreditados.

Párr. 695: En caso de no ser posible la valoración a precios de mercado, los bancos podrán valorar según modelo, siempre que pueda demostrarse que esta valoración es prudente. La valoración según modelo se define como cualquier valoración que deba obtenerse a partir de referencias, extrapolaciones u otros cálculos a partir de un input de mercado. Cuando se valore según modelo, será conveniente introducir un grado extra de conservadurismo.

No se ofrece ninguna aclaración acerca de qué consiste la introducción de un “grado extra de conservadurismo” o si el mismo se refiere a la manera de estimar los parámetros de los modelos, a los supuestos de los modelos o la elección de unos modelos sobre otros (se exige el empleo de modelos generalmente aceptados, pero pueden existir varios para un determinado instrumentos y también se menciona que los bancos pueden desarrollar sus propios modelos de valoración) y tampoco los criterios que determinan el menor o mayor “grado de conservadurismo”.

En los párrafos 699 y 700 se menciona la necesidad de “considerar formalmente ajustes/reservas de valoración” que tomen en cuenta la incertidumbre que afecta el valor de los instrumentos valorados con modelos.

Párr. 699: [...] diferenciales de calificación, crediticia aún no ingresados, costes de liquidación, riesgos operacionales, rescisión, anticipada, costes de inversión y de financiación y costes administrativos futuros y, cuando, proceda, el riesgo asociado a la utilización de un modelo.

Párr. 700: [...] los bancos deben realizar ajustes de valoración a la baja/reservas para estas posiciones menos líquidas, así como comprobar su idoneidad de forma continua”. La menor liquidez puede venir provocada por acontecimientos ocurridos en el mercado. Asimismo, al determinar dichos ajustes de valoración/reservas, deberán considerarse los precios de liquidación de las posiciones concentradas y/o vencidas. Los bancos deberán tener en cuenta todos los factores relevantes a la hora de determinar la adecuación de los ajustes de valoración/reservas para posiciones menos líquidas. Estos factores pueden incluir, entre otros, el tiempo que llevaría cubrir la posición o sus riesgos, la volatilidad media del intervalo entre el precio de compra y el de venta, la disponibilidad de cotizaciones de mercado independientes (número e identidad de los creadores de mercado) y el promedio y la volatilidad de los volúmenes negociados, concentraciones en el mercado, la maduración de las posiciones, la medida en la que la valoración se basa en modelos, así como el impacto de otros riesgos relacionados con el modelo.

De nuevo, aparte de la enumeración de un gran número de elementos, no se establece ningún método concreto para la realización de los ajustes o las situaciones en los que dichos elementos pueden ser relevantes.

## **2.3 Tipología de modelos VaR y elección de los modelos empleados en los estudios empíricos de la tesis**

El marco de los modelos internos recoge adicionalmente a los requisitos comunes para ambos métodos, las exigencias que deben cumplir las entidades financieras para que reciban la autorización por parte de las autoridades supervisoras de aplicar los modelos VaR de su elección para calcular los requerimientos de capital para riesgo de mercado. En este sentido se estipulan una serie de exigencias adicionales y pautas acerca de cómo se debe emplear la información proporcionada por los modelos en la gestión del riesgo y las competencias para llevar a cabo el control interno que asegure el cumplimiento de las normas o el tratamiento de los riesgos de crédito y liquidez de la cartera de negociación. Antes de avanzar en la exposición de los requisitos específicos al método basado en modelos internos conviene

exponer brevemente las principales categorías de modelos VaR y algunas de sus principales características. La regulación no hace ninguna mención no exige el empleo de ningún modelo en concreto o de las técnicas a emplear en la estimación de los parámetros relevantes.

El “valor en riesgo” se define como la estimación de la pérdida máxima que se puede producir en el ante los movimientos del precio de un instrumento financiero (en el que se tiene una posición larga o corta), a un nivel de confianza y horizonte temporal determinados. El nivel de confianza se suele fijar entre el 95% y 99% y el horizonte temporal elegido en general para la medición del riesgo de mercado suele ser corto, entre un día y un mes, aunque el horizonte de diez días fue el estándar fijado por el Comité. Si suponemos que el VaR estimado para una cartera, a un horizonte diario y un nivel de confianza del 99% es del 5% del valor actual de la cartera se espera que, en media, la caída del valor supere el umbral del 5% en 1 día de cada 100. En un año, considerando convencionalmente 250 días laborables, se esperan pérdidas superiores al VaR entre 2 y 3 veces. Lo mismo se puede expresar en unidades monetarias: suponiendo que para una cartera de 1.000.000 de euros el VaR estimado, bajo las mismas condiciones, es 50.000 euros, por lo que se espera que las pérdidas superen, en media, dicha cantidad 1 vez en cada 100 observaciones. El VaR es la estimación de una pérdida (lo que sería -50.000), pero es habitual expresarlo en valor absoluto.

Las estimaciones que se pueden obtener de las pérdidas futuras con un modelo VaR no deben ser interpretadas como inequívocas, ya que pueden existir momentos en los que las pérdidas superen las pérdidas estimadas (lo que es coherente con el planteamiento de estimar las pérdidas máximas con un determinado nivel de confianza). Para determinar la precisión del modelo se debe considerar la magnitud de la diferencia que existe entre la frecuencia de la realización de los valores extremos que supone el modelo y las frecuencias observadas posteriormente, que es la base de los test de contraste (o *backtesting*).

Los principales métodos para estimar el valor en riesgo son los modelos VaR paramétricos, los modelos que estiman el VaR a través de una simulación histórica y las simulaciones Monte Carlo. En el caso de los modelos paramétricos, se dispone de distintas técnicas para la estimación de los parámetros relevantes Alexander (Alexander 2008; Jorion 2007; Duffie y Pan 1997; Vilariño, Pérez, y García 2008).

### 2.3.1 Modelos VaR paramétricos

En los modelos paramétricos se modeliza el comportamiento de las variables que generan exposición al riesgo, haciendo determinados supuestos acerca de las características del proceso estocástico que suponemos los genera. Los factores de riesgo son distintos para cada tipo de instrumento. En el caso de las acciones, índices bursátiles o materias primas, tipos de cambio se trata de la variación de los precios de las mismas, del valor del índice, en su caso, o del propio tipo de cambio. Las pérdidas se generan cuando ocurren variaciones negativas en el caso de las posiciones largas y positivas en el caso de las posiciones cortas. Igual para los. En el caso de los bonos, las pérdidas se deben igualmente por la variación negativa o positiva de los precios de los mismos, pero convencionalmente la modelización se centra en los tipos de interés de los mismos (las tasas internas de rentabilidad o TIR que se determinan en función del precio y el cupón del bono). En algunos casos, se puede plantear modelos de riesgo en los que las TIR sean funciones de los tipos de interés libres de riesgo y las primas de riesgo.

En los modelos de riesgo de mercado o de valor razonable para los instrumentos derivados son la modelización se centra en las variaciones de los instrumentos subyacentes y su relación con la variación del valor de los derivados a través de los modelos de valoración.

Una vez elegida las distribuciones de probabilidad de los factores de riesgo pertinentes para cada instrumento, se estiman, en base a una muestra de datos de mercado, los parámetros de las distribuciones: la volatilidad (el término habitual empleado para la raíz cuadrada de la varianza) y las correlaciones entre los mismos en el caso de una cartera compuesta por varios instrumentos. La estimación de las pérdidas potenciales se realiza eligiendo un nivel de confianza elevado, generalmente por encima del 95%.

La probabilidad de que las pérdidas futuras superen el valor en riesgo calculado en la fecha actual para una fecha futura con un nivel de confianza  $\alpha$ , se puede expresar como:

$$\text{Prob}(\Delta V_{t,t+h} \leq \text{VaR}_{\alpha}) = 1 - \alpha$$

Donde  $\Delta V_{t,t+h}$  es la variable aleatoria cuyas realizaciones son las pérdidas de la cartera entre la fecha  $t$  y la fecha  $t+h$  y  $\text{VaR}_{\alpha}$  es el valor en riesgo estimado al horizonte  $h$  y al nivel de



confianza  $1-\alpha$ . Es habitual que el VaR se exprese como un número positivo, pero tomando en cuenta que, si la posición es larga, la pérdida está dada por las variaciones negativas, eso es por los valores de la cola izquierda de la distribución.

Entre los “hechos estilizados” del análisis estadístico del comportamiento de las variaciones de los precios de muchas variables financieras se recogen con frecuencia la ausencia de igualdad de la varianza en distintos periodos y también momentos de tercer y cuarto orden distintos de los que permitirían no rechazar el supuesto según el cual las rentabilidades de los precios se distribuyen como variables aleatorias normales. El supuesto de normalidad es muy habitual en la práctica, aunque generalmente se observa un mayor coeficiente de curtosis y un coeficiente de asimetría negativo en las series financieras a la vez que la existencia de periodos de menor o mayor volatilidad. En la literatura existen numerosas propuestas alternativas para modelizar las variaciones de los precios de los activos financieros en los que las series históricas de rentabilidades de los distintos activos financieros se aleja de las leyes de la distribución gaussiana y también distintos modelos que intentan captar el carácter no constante de la volatilidad<sup>26</sup>.

Las estimaciones se llevan a cabo en base a las rentabilidades diarias, semanales o mensuales en el caso de las acciones, tipos de cambio o materias primas. En el caso de los bonos, generalmente se trabaja con las primeras diferencias de las tasas de rentabilidad interna (TIR), pero se pueden modelizar también las variaciones relativas (se realizan las transformaciones que permiten obtener series estacionarias en media).

Se puede aceptar como supuesto que los datos procedentes de las transformaciones pertinentes son realizaciones de variables aleatorias que se distribuyen según una determinada ley de probabilidad. Sin embargo, en cada fecha, se dispone de un solo dato, por lo que, sea cual sea el supuesto sobre dicha distribución, el mismo es incontrastable.

Si se acepta que dichas observaciones son realizaciones muestrales que proceden de un proceso estocástico estacionario<sup>27</sup> se pueden inferir las características distribucionales de

---

<sup>26</sup> En Cootner (2000) se puede consultar una panorámica histórica sobre la literatura acerca de la modelización de los precios de los activos financieros.

<sup>27</sup> Se refiere a estacionariedad en sentido fuerte, por la que se entiende estacionariedad en media, varianza, autocorrelación y que la distribución de probabilidad conjunta del vector de variables aleatorias que forman un

estas variables no observables en base a las características de las series históricas de rentabilidades. Este supuesto es, a su vez incontrastable, pero puede resultar útil para determinadas aplicaciones o para un primer análisis estadístico descriptivo que puede llevar a rechazar el supuesto de normalidad incondicional.

Sin embargo, es ampliamente aceptado que las especificaciones que producen estimaciones más precisas son aquellas que introducen la existencia de momentos de segundo orden (varianzas) no constantes.

En este contexto se plantea modelizar las distribuciones condicionales de los factores de riesgo, con especificaciones que reflejen la existencia de varianzas heteroscedásticas en el tiempo y que dependen de la información disponible en cada fecha acerca de la variación de los precios de mercado en fechas pasadas. Estas especificaciones no contradicen el supuesto anterior de estacionariedad fuerte y distribuciones incondicionales homoscedásticas.

Por tanto, existen varias opciones para modelizar los factores de riesgo en un modelo VaR paramétrico:

- Variables aleatorias cuya distribución incondicional sigue la ley de probabilidad gaussiana, con varianzas homoscedásticas (estimada con la fórmula habitual para la varianza muestral)
- Variables aleatorias cuya distribución condicional sigue la ley de probabilidad gaussiana, con varianzas heteroscedásticas (estimada con una técnica adecuada para este supuesto)
- Variables con distribuciones incondicionales distintas de la distribución gaussiana, con varianza homoscedástica

---

proceso estocástico sea independiente del tiempo. En base al supuesto de estacionariedad fuerte se demuestra que la media temporal de un proceso estocástico puede ser calculado como promedio sobre el espacio de estados (Malinvaud 1967, 433). Las mismas consideraciones se aplican a funciones más complejas como momentos de órdenes superiores que se pueden estimar utilizando la media temporal. Si lo anterior se cumple, se dice de dicho proceso que es ergódico. Bajo este supuesto y dado que se dispone de series largas para muchos instrumentos, se puede calcular la media temporal del proceso y la varianza, extrapolando los resultados a las distribuciones incondicionales de las variables que en cada fecha se supone generan las observaciones de la muestra.

- Variables con distribuciones condicionales distintas de la distribución gaussiana, con varianza heteroscedástica

Los supuestos acerca de las distribuciones condicionales no pueden ser invalidados en base al análisis de los momentos temporales. Un supuesto de normalidad condicional es coherente con el rechazo de la normalidad incondicional y la heteroscedasticidad condicional es coherente con un supuesto de homoscedasticidad incondicional. Cada método de modelización permite obtener una estimación distinta del riesgo de mercado que, en la práctica se concreta en unas pérdidas estimadas mayores o menores y dependerán, a su vez, del horizonte al que se realiza la estimación y del nivel de confianza elegido.

### 2.3.1.1 VaR normal incondicional

Para el caso de una acción, según el supuesto de normalidad incondicional, la rentabilidad en cada fecha  $t$  (diaria, semanal o mensual) se distribuye como una variable aleatoria normal de media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$  o, empleando la notación habitual:

$$R_t \sim N(\mu, \sigma^2)$$

Es habitual que para horizontes cortos la media se considere nula. La modelización de las rentabilidades de los precios bajo el supuesto de que las rentabilidades siguen una distribución normal con media nula puede ser adecuada aunque, en general, se rechazaría la normalidad para horizontes medios y largos (Vilariño 2001, cap. 11).

Como alternativas a la distribución gaussiana se han propuesto distribuciones leptocúrticas<sup>28</sup> o de “colas gruesas”, por ejemplo, la distribución  $t$  de Student con distintos grados de libertad (el aumento de los grados de libertad en una distribución  $t$  disminuye la densidad de probabilidad en las colas), el uso de modelos basados en las distribuciones estables o mezclas de distribuciones normales.

---

<sup>28</sup> Un exceso positivo de curtosis es indicador de la presencia de una mayor densidad de probabilidad en las colas de la distribución con respecto a la distribución normal para la cual el coeficiente de curtosis, por definición, es cero. Las distribuciones que presentan exceso de curtosis se denominan leptocúrticas o distribuciones con “colas gruesas”. En el contexto de la medición del riesgo es relevante la estimación de los cuantiles de las colas (la izquierda en el caso de una distribución asimétrica), que refleja las probabilidades de los valores negativos de la distribución asociados con las pérdidas. Un coeficiente de asimetría negativo refleja una mayor densidad de probabilidad en los valores negativos.

### 2.3.1.2 VaR normal condicional

Si se considera la distribución condicional, la rentabilidad en la fecha  $t$ , condicional a la información en las fechas anteriores se distribuye como una variable normal de media  $\mu$  y varianza  $\sigma_t^2$ . Lo mismo se puede expresar como:

$$R_t | \Psi_t \sim N(\mu, \sigma^2)$$

donde  $\Psi_t$  representa el conjunto de información disponible en la fecha  $t$ , donde por “información” se entiende el conjunto de datos históricos sobre los movimientos de la rentabilidad.

Para una acción en posición larga cuya rentabilidad sigue la distribución de una variable aleatoria normal, el VaR al nivel de confianza  $1-\alpha$  está dado por:

$$\text{VaR}(\alpha) = V_t^* - V_0 = V_0 k(\alpha) \sigma \sqrt{t}$$

$V_t^*$  es el valor correspondiente a la variación de la acción correspondiente dado el nivel de confianza  $1-\alpha$

$V_0$  es el valor del activo en la fecha de cálculo del VaR

$k(\alpha)$  es el percentil de la cola izquierda que correspondiente al nivel de confianza  $1-\alpha$  en una distribución normal estándar

$\sigma$  es la raíz cuadrada de la varianza (o la volatilidad) condicional o incondicional estimada de la rentabilidad del activo

$t$  el horizonte temporal al que se calcula el VaR, medido en días

Empleando los mismos supuestos para un bono en posición larga, la fórmula del VaR se puede expresar como:

$$\text{VaR}(\alpha) = -SPk(\alpha)\sigma_{\Delta r}\sqrt{t}$$

$$S = -\frac{D}{1+r}$$

$S$  es la sensibilidad del precio del bono ante un movimiento en el tipo de interés (la tasa interna de rentabilidad o TIR) del bono

$D$  es duración del bono

$k(\alpha)$  es el percentil de la cola izquierda que correspondiente al nivel de significación  $\alpha$  en una distribución normal estándar

$\sigma_{\Delta r}$  denota la volatilidad de la primera diferencia de la TIR

$t$  representa el horizonte temporal al que se calcula el VaR, medido en días

En base a los mismos supuestos se pueden formular modelos VaR para tipos de cambio, índices bursátiles, materias primas o instrumentos derivados o para carteras compuestas por varios instrumentos. Para simplificar el número de parámetros a estimar se pueden construir modelos VaR para carteras dependientes de un factor, como puede ser un índice de mercado.

En el caso de las opciones u otros instrumentos con funciones de pago no lineales (donde los cambios en el valor de los factores de riesgo generan cambios no lineales en el precio de dichos instrumentos) existen aproximaciones lineales, como el VaR delta-gamma, pero se pueden formular modelos no-lineales en los casos en los que una función lineal aproxima de manera poco precisa las variaciones de los factores de riesgo (Vilariño 2001, 118-21). En el Capítulo 6 se ha empleado el VaR delta-gamma para la valoración de los derivados implícitos (opciones *call* y *put* estándar y digitales europeas) de un producto estructurado sobre el índice bursátil Eurostoxx 50.

El uso de la distribución normal se ha asociado a veces a una infravaloración del riesgo, mientras que el empleo de las distribuciones de colas gruesas se ha interpretado, por contraposición, como el reflejo de una visión más conservadora acerca de las pérdidas potenciales. Se habla de infravaloración cuando las pérdidas efectivas superan las pérdidas estimadas en un número de veces mayor que el esperado, para un determinado nivel de confianza. Esta asociación es muy discutible en la medida en la que la precisión del VaR depende de la especificación del modelo, pero dentro del marco de un modelo construido bajo el supuesto de que los factores de riesgo siguen una distribución normal, es importante la elección del horizonte temporal y del nivel de confianza. Distintos horizontes y niveles de confianza pueden hacer que modelos con la misma especificación (de normalidad, en este caso) tengan un sesgo en un sentido (infravaloración) o en el contrario (sobrevaloración) como se muestra en los Capítulos 3, 4 y 5. Otro tema fundamental en este sentido es la

elección del modelo para la estimación de la volatilidad que tiene un impacto directo en las estimaciones de los modelos VaR paramétricos.

### 2.3.1.3 Modelos para la estimación de la volatilidad

Debido a que la varianza es un elemento central en la medición del riesgo y no es un elemento observable, existen distintos modelos para su estimación, que, en el ámbito de la gestión del riesgo, se utilizan conjuntamente con los modelos VaR.

Se pueden emplear para estos propósitos modelos de medias móviles, modelos de la familia ARCH o GARCH, modelos de saltos o de volatilidad estocástica.

Los modelos ARCH o GARCH que se emplean para estimar la volatilidad de las distribuciones condicionales de las rentabilidades y reflejan el carácter heteroscedástico de las variables financieras. Los modelos ARCH y GARCH, acrónimos de (*generalized*) *autoregressive conditional heteroscedasticity* o heteroscedasticidad autorregresiva condicional (generalizada), modelizan la distribución condicional de la rentabilidad y estiman los parámetros que permiten calcular la volatilidad de dicha distribución en cada fecha en función de las rentabilidades pasadas<sup>29</sup>.

En un proceso GARCH, se considera el siguiente modelo de rentabilidad:

$$R_t = \mu + \varepsilon_t$$

Donde la variable  $\varepsilon_t$  se puede suponer normal o cumpliendo otra ley de probabilidad distinta a la normal. La varianza condicional  $\sigma_t^2$  de la variable  $\varepsilon_t$  será igual a:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i \sigma_{t-i}^2$$

Con las condiciones  $p \geq 0; q > 0; \alpha_0 > 0; \alpha_i \geq 0; \beta_i \geq 0$

La distribución del término de error se considera por tanto condicional al conjunto de información que componen las rentabilidades pasadas, entre los cuales las más recientes

---

<sup>29</sup> Los modelos ARCH se emplean por primera vez en 1982 en la estimación de medias y varianzas de la inflación del Reino Unido (Engle 1982). La generalización a los modelos GARCH es desarrollada por Bollerslev en 1986 (Manganelli y Engle 2011).

tienen la mayor relevancia, en función del orden del proceso autorregresivo elegido en la especificación del modelo.

Dentro de la familia de modelos GARCH existen modelos con distintas especificaciones para la varianza, como los modelos TARCH que plantean la existencia de varianzas condicionales mayores para las rentabilidades negativas, modelos EGARCH (o GARCH exponencial) en los que la influencia de los residuos sobre la varianza condicional es de tipo exponencial, etc. (Vilariño 2001, cap. 9)

Otros métodos para el cálculo de la volatilidad condicional que proporcionan resultados próximos son las llamadas ventanas de volatilidad o el modelo de media móvil ponderada exponencialmente (o EWMA, por la denominación en inglés *exponentially weighted moving average*). Una ventana de volatilidad consiste en calcular la desviación típica mediante la exposición habitual, como suma de los cuadrados de las desviaciones de las rentabilidades con respecto a la media muestral, y, a medida que pasa un día, incorporar la nueva observación y eliminar la observación más antigua.

En un modelo EWMA, la varianza condicional es función de las rentabilidades pasadas ponderadas por un factor constante estimado según algún criterio de optimización. Las ponderaciones son potencias decrecientes de dicho factor constante, que asigna más peso a las observaciones más recientes. Este método se aplica en el Capítulo 3, con el modelo EWMA que utiliza las ponderaciones de Riskmetrics. Los modelos EWMA son un caso particular de modelo GARCH (1,1) donde la varianza condicional es,

$$\sigma_{t/t-1}^2 = (1-\lambda)\varepsilon_{t-1}^2 + \lambda\sigma_{t-1/t-2}^2$$

#### **2.3.1.4 Teoría de los valores extremos**

La teoría estadística de valores extremos (TVE), Embrechts, Klüppelberg y Mikosch (1997), proporciona la distribución asintótica de los valores extremos (máximos y mínimos) de una variable aleatoria, bajo determinados supuestos.

La función de densidad de probabilidad es

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\eta} \left[ 1 + \frac{k(x-\beta)}{\eta} \right]^{-\frac{1+k}{k}} \exp \left[ - \left( 1 + \frac{k(x-\beta)}{\eta} \right)^{-\frac{1}{k}} \right] & k \neq 0 \\ \frac{1}{\eta} \exp \left( - \frac{x-\beta}{\eta} - \exp \left( - \frac{x-\beta}{\eta} \right) \right) & k = 0 \end{cases}$$

Los parámetros  $\eta, \beta$  y  $k$ , se pueden estimar mediante el método de máxima verosimilitud. Para la estimación debe disponerse de una muestra de valores extremos. Supongamos que la variable cuyos valores extremos constituyen el factor subyacente de riesgo, es la variación del tipo de interés de un determinado instrumento de deuda, cotizado en un mercado activo. Se dispone de las variaciones diarias del tipo de interés,  $\Delta i_t = i_t - i_{t-1}$ , para una muestra de  $N$  días. Se realiza una partición de  $n$  submuestras disjuntas, cada submuestra con  $g$  datos, tal que  $N = ng$

Para cada submuestra  $i$  se obtiene el valor extremo  $x_i$ , por ejemplo, el máximo, tal que

$$x_i = \text{Max}(\Delta i_{i1}, \Delta i_{i2}, \dots, \Delta i_{ig})$$

Y de ese modo se obtiene una muestra de  $n$  valores extremos,  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , para estimar los parámetros  $\eta, \beta$  y  $k$ , de la función de densidad de valores extremos.

Tsay (2010), demuestra que el VaR con horizonte diario, y con un nivel de confianza  $1 - \alpha$ , es decir, con probabilidad  $p = \alpha$ , viene dado por

$$\text{VaR} = \hat{\beta} - \frac{\hat{\eta}}{\hat{k}} \left[ 1 - (-n \ln(1 - p))^{\hat{k}} \right]$$

El VaR para horizonte de  $h$  días, Danielsson y De Vries (2000), está dado por,

$$\text{VaR}(h) = h^{\hat{k}} \text{VaR}$$

No existe evidencia de que la estimación del VaR mediante la teoría de valores extremos sea siempre más eficiente que la estimación del VaR mediante otros modelos, por ejemplo, modelos GARCH (1,1) o EWMA. Tampoco existe evidencia en sentido contrario. Los resultados obtenidos en las diversas investigaciones publicadas, ofrecen conclusiones



altamente dependientes de la muestra utilizada y del instrumento cuyo riesgo de mercado se mide.

Nuestra investigación no trata de determinar cuál habría sido el mejor modelo para unas determinadas circunstancias, sino en qué medida los requerimientos de capital por riesgo de mercado, han sido suficientes cuando han sido estimados con modelos generalmente aceptados, como son los modelos GARCH y los EWMA.

### 2.3.2 Métodos no paramétricos

Los métodos no paramétricos se emplean para modelizar los datos en base a las frecuencias observadas sin hacer un supuesto acerca de la distribución de los mismos a priori.

#### 2.3.2.1 Simulación Monte Carlo

Las simulaciones de Monte Carlo se pueden utilizar para estimar el VaR de cualquier tipo de activo y son especialmente útiles en la estimación del VaR de opciones. La aplicación del método Monte Carlo para el cálculo del VaR consiste en generar realizaciones de variables aleatorias que permitan simular la trayectoria de los factores de riesgo que rigen la variación del valor de un instrumento. La elección de las características del proceso se basa en modelos proporcionados por la teoría financiera.

Para el caso de una acción, se acepta que el precio sigue un proceso log-normal tal que en cada fecha  $t_i$  el precio  $S$  será igual a:

$$S(t_i) = S(t_{i-1}) \exp \left[ \left( (r - q) - \frac{\sigma^2}{2} \right) (t_i - t_{i-1}) + \sigma \sqrt{t_i - t_{i-1}} \varepsilon_i \right]$$

$$\varepsilon_i \sim N(0,1)$$

$\sigma$  es la volatilidad estimada de la acción

$r$  es el tipo de interés libre de riesgo al plazo  $t_i - t_{i-1}$

$q$  es la tasa de dividendos correspondientes al mismo plazo

Las variables aleatorias  $\varepsilon_i$  se consideran independientes en cada fecha.

Para calcular el VaR en la fecha  $t$  para un horizonte de 1 día se generan  $n$  valores de una variable aleatoria normal estándar y se calculan los  $n$  precios correspondientes a cada valor generado en base a la fórmula anterior. Se ordenan de menor a mayor los valores obtenidos y se elige  $S^*$  que representa el valor correspondiente al nivel de confianza deseado. Para una muestra de 1000 valores y un nivel de confianza del 95%, será el valor correspondiente a la posición 50 después de la ordenación creciente de los datos. Para un nivel de confianza del 99% el VaR será el valor correspondiente a la posición 10.

El VaR calculado en la fecha  $t_i$  para el día siguiente será:

$$\text{VaR}(t_{i+1}) = S^* - S(t_i)$$

Para calcular el VaR en la fecha  $t$  para un horizonte de 10 días los pasos son los siguientes:

Se generan 10 valores de una variable aleatoria normal estándar  $\varepsilon_1$  y se calculan los 10 precios correspondientes a cada valor generado en base a la fórmula anterior.

El precio estimado para la fecha final será:

$$S(t_n) = S(t_0) \exp \left[ n \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \sum_{j=1}^n \varepsilon_{1j} \right]$$

$$\mu = r - q$$

$t_0$  es el precio en la fecha de la simulación

$t_n$  es el precio estimado para dentro de 10 días

Se repite el procedimiento para una segunda variable aleatoria  $\varepsilon_2$ , hasta  $\varepsilon_n$ . Los precios de cada senda en  $t+10$  se ordenan y se elige el valor correspondiente al nivel de confianza deseado. Dicho valor será el VaR para el horizonte  $t=10$ , una pérdida estimada que se espera que será inferior a las pérdidas a 10 días reales de la cartera una vez de cada 100 observaciones para un nivel de confianza del 99% o 5 de cada 100 para un nivel de 95%.

En el contexto de los modelos de riesgo, los métodos de simulación Monte Carlo se utilizan para estimar el VaR de las opciones, como alternativa al VaR delta-gamma (Vilariño, Pérez, y García 2008, 138).

### 2.3.2.2 Simulación histórica

Esta metodología no se basa en ningún supuesto acerca de la distribución de probabilidad de los factores de riesgo, sino que elige de los valores de una muestra de datos históricos aquél que corresponde al nivel de confianza deseado. El método es similar a una simulación Monte Carlo, pero el procedimiento de generar la muestra en base a la que se calcula el VaR es distinto.

Si se desea calcular el VaR de una acción a través de este método primero se calculan las rentabilidades de la acción para una muestra de  $n$  fechas anteriores a la actual y se obtiene así la serie de rentabilidades pasadas  $R_n, R_{n-1}, \dots, R_1$ .

Se multiplican todos los datos por el precio de mercado actual de la acción,  $P$ , y se ordena la muestra obtenida en orden ascendente  $PR_{1:n} \leq PR_{2:n} \dots PR_{j:n} \dots \leq PR_{n:n}$ .

A un nivel de confianza de 99%, el VaR será el valor negativo mayor que el 1% de los  $n$  datos de la muestra.

$$VaR_{SH}(1-\alpha) = -PR_{j^*:n}$$

$$\frac{j^* - 1}{n} < \alpha \leq \frac{j^*}{n}$$

Para disponer de suficientes observaciones en la cola a niveles de confianza elevados, la muestra debe ser larga, pero al extender las observaciones en el pasado nos enfrentamos al problema de la heterogeneidad de los fenómenos subyacentes que generaron los datos. El método descrito en esta sección se basa en la presunción de que el comportamiento de los datos y los factores que los generan son estables a lo largo del tiempo y, de alguna manera, esta hipótesis es compartida por el resto de los métodos. Pero se ha visto que es posible plantear distintos matices en cada uno.

### 2.3.3 Elección de los modelos VaR para los estudios empíricos

Los instrumentos que se negocian en mercados activos cambian de valor con mucha frecuencia en virtud de las compras y ventas realizadas por los operadores. Los modelos de riesgo estiman un umbral para las pérdidas que se pueden dar por estos cambios. Se espera

que este umbral sea superado, en media, un número reducido de veces, en función del nivel de confianza elegido. El valor de los instrumentos valorados con modelos que utilizan datos de mercado refleja los cambios de los datos de mercado, en función de las relaciones que establecen los modelos de valoración entre estos datos y el valor razonable del instrumento. Los modelos VaR se pueden aplicar también para estimar las pérdidas futuras potenciales debidas a los cambios en el valor razonable.

En los capítulos que comprenden el estudio empírico se ilustrarán ambos casos. El primero consiste en estimar el VaR de:

- Acciones de grandes empresas internacionales, con un volumen de transacción diario muy relevante.
- Bonos públicos y corporativos
- Bonos públicos y corporativos incorporando riesgo de tipo de cambio

El segundo caso es la estimación del VaR de un producto estructurado compuesto por varios derivados implícitos (opciones estándar y digitales) que tienen como subyacente el índice Eurostoxx 50 (una referencia altamente líquida).

Según señala la literatura revisada, las técnicas VaR más empleadas en la práctica son la simulación histórica, junto con distintas variantes de los modelos paramétricos, entre los cuales la metodología popularizada por RiskMetrics (RM). Un estudio temprano del año 1998 del Comité de Basilea (CBSB 1998) documenta que un número considerable de los bancos entrevistados utilizaba en ese momento el método basado en la simulación histórica (SH). Según Holton (2014, sec. 11.4) simulación histórica siguió siendo el método más extendido después del lanzamiento de RiskMetrics. En Mina y Yi Xiao (2001) se menciona que la metodología RiskMetrics estaba en uso en numerosas entidades financieras a principio de la década pasada y, según señalan Finger (2006) y Zumbach (2006), esta tendencia se mantuvo en los años posteriores. Según Ball y Fang (2006), RiskMetrics era uno de los *software* más comercializados en la década de los 2000. Según Pérignon, Deng y Wang (2008) simulación histórica predomina en los bancos canadienses y Pérignon y Smith (2010) encuentran que éste era también el método más utilizado al analizar las memorias del año 2005 de 10 de los bancos más grandes de EEUU y memorias de varios años posteriores de otros bancos

internacionales (6 canadienses y 50 de otros países del mundo). Según la información proporcionada por estos autores, en un número reducido de bancos se utilizaban simulaciones Monte Carlo.

En la literatura acerca del comportamiento y precisión de los modelos VaR, los resultados muestran generalmente que existe una amplia variedad de modelos VaR que producen buenas estimaciones de las pérdidas futuras, aunque los métodos mejor valorados dependen en cada estudio de la muestra empleada o del tipo de instrumentos (Angelidis, Benos, y Degiannakis 2004; Barone-Adesi, Giannopoulos, y Vosper 2002; Bhattacharyya 2012; Coleman, Alexander, y Li 2006; Engle 2001; González y Nave 2010; Hendricks 1996; J. C. Hull y White 1998; Lee y Su 2012; Pafka y Kondor 2001; Roy 2011; So y Yu 2006). Los trabajos empíricos de esta naturaleza no son directamente comprables porque difieren los modelos o muestras utilizadas, los periodos de observación y la frecuencia de los datos empleados en la estimación de los parámetros, los instrumentos elegidos para la cartera o el método de contraste elegido. Los trabajos empíricos revisados sobre modelos VaR se centran en valorar el funcionamiento de determinadas categorías de modelos VaR en cuanto a la relación entre las pérdidas estimadas con los modelos y las pérdidas reales registradas en los instrumentos para los que se aplican dichos modelos. En estos trabajos no se calculan los requerimientos de capital en base a la regulación y, por tanto, tampoco se llega a analizar la relación de las pérdidas reales con respecto al capital regulatorio calculado en base al VaR.

En los estudios empíricos de la tesis, uno de los objetivos principales es calcular el capital regulatorio para los instrumentos analizados en base al VaR. Para estimar el VaR, aplicamos un modelo paramétrico en el que la volatilidad condicional de las rentabilidades de las acciones y de los tipos de interés se calcula siguiendo la metodología expuesta en RiskMetrics. Alternativamente calculamos la volatilidad en base a modelos GARCH(1,1) estimados para cada instrumento. Para calcular el VaR del producto estructurado empleamos la aproximación delta-gamma para el VaR de los derivados implícitos (opciones digitales y estándar)<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Véase Capítulo 6 para más detalles acerca del proceso de identificación de los derivados implícitos del producto estructurado, la valoración y la construcción del modelo de riesgo.

La elección de los modelos responde, por un lado, a que la metodología RiskMetrics parece ser una de las más extendidas en los bancos, según la literatura revisada. Por otro lado, se ha buscado emplear procedimientos que puedan ser replicados con facilidad en base a los detalles que se ofrecen en cada capítulo con respecto a la metodología empleada para cada instrumento. Alternativamente al método expuesto en RiskMetrics, en los estudios empíricos se emplean también modelos GARCH para calcular la volatilidad de los factores de riesgo asociados a cada instrumento. Dicha elección se ha basado en la extensa literatura que recoge las aplicaciones de los modelos ARCH y GARCH en la modelización de variables económicas y financieras y que destaca su buena capacidad predictiva<sup>31</sup>.

## **2.4 El método basado en modelos internos para riesgo de mercado**

### **2.4.1 Estándares cualitativos**

En el párrafo 718(Lxxiv), puntos (a)– (f), se especifican algunos de los requisitos que forman parte de los criterios cualitativos que se refieren la manera de integrar el modelo de riesgo en la gestión diaria y, reiteran la necesidad de que el Consejo de Administración y la alta gerencia participen activamente en la gestión del riesgo.

(a) El banco deberá contar con una unidad independiente de control de riesgos que sea responsable del diseño e implementación del sistema de gestión de riesgos del banco. Esta unidad deberá producir y analizar informes diarios sobre los resultados obtenidos con el modelo de medición de riesgo del banco, incluyendo una evaluación de la relación entre las medidas de exposición al riesgo y los límites de operación. Dicha unidad deberá ser independiente de las unidades de comerciales y deberá informar de manera directa a la alta gerencia del banco.

(b) La unidad deberá llevar a cabo un programa periódico de comprobación, es decir, pruebas para comparar a posteriori la medida de riesgo generada por el modelo con las variaciones diarias efectivas del valor de la cartera durante largos periodos de tiempo y con cambios hipotéticos sobre la base de posiciones estáticas.

(c) Esta unidad deberá realizar asimismo la validación inicial y continua del modelo interno.

(d) El Consejo de Administración y la alta gerencia participarán activamente en el control de riesgo, al que deben considerar como un aspecto esencial del negocio comercial al que deberán consagrar suficientes recursos. En este sentido, los informes diarios preparados por la unidad independiente de control del riesgo deberán ser revisados por un alto cargo con suficiente experiencia y autoridad como para autorizar tanto la reducción de las posiciones

---

<sup>31</sup> En este sentido se pueden consultar Alexander (2008, vol. 4, cap. 4) y Bera y Higgins (1993).

tomadas por agentes individuales como la reducción de la exposición general del banco al riesgo.

(e) El modelo interno para la medición del riesgo del banco deberá estar muy integrado en su gestión diaria de riesgos. Por ello, sus resultados deberán ser parte integral del proceso de planificación, seguimiento y control del perfil de riesgo de mercado del banco.

(f) El sistema de medición de riesgos deberá utilizarse junto con límites internos de exposición al riesgo y de negociación. En este sentido, los límites de negociación deberán establecerse en función del modelo de medición del riesgo del banco de un modo consistente a lo largo del tiempo y transparente tanto para las mesas de negociación como para los directivos.

El cumplimiento de estos requisitos es sin duda deseable, pero asegurar su cumplimiento no es una tarea sencilla. La “calidad” de la información elaborada por el departamento de riesgos dependerá del grado de desarrollo de los sistemas internos de medición del riesgo, incluyendo aquí, junto con el manejo de los modelos, la capacidad de los gestores para identificar y medir los riesgos de los instrumentos negociados por las mesas de tesorería y las decisiones de las juntas directivas sobre el riesgo que se desea asumir, en base a los informes del departamento de riesgos, que dependerán a su vez de la capacidad para interpretar dicha información y voluntad de limitar la exposición al riesgo e imponer sanciones si no se cumplen los límites establecidos. Otros de los principios previstos estipulan que la entidad cuente con “suficiente personal competente para utilizar modelos sofisticados” 718(Lxxi), la dotación de “suficientes recursos” para el desarrollo de las labores de gestión o la revisión de los informes diarios “por un alto cargo con suficiente experiencia” 718(Lxxiv)-d), pero no se especifica en qué magnitudes de recursos se pueden considerar “suficiente” o qué nivel de formación puede asegurar dicha competencia.

La mera expresión de la necesidad de aplicar estos principios generales no asegura su cumplimiento. Ante la ausencia de reglas operativas y la abundancia de recomendaciones basadas en principios generales, el amplio margen para interpretar las normas y decidir sobre el grado de cumplimiento de las mismas genera un escenario complicado para la supervisión.

## **2.4.2 Estándares cuantitativos**

Se ha mostrado que existen muchas modalidades para construir un modelo VaR, pero la regulación no hace prescripciones con respecto a qué tipo de modelo deben desarrollar los

bancos, mientras los mismos pertenecen a la categoría de modelos VaR. Los estándares cuantitativos esbozan características generales que deben cumplir los modelos internos.

En el párrafo 718(Lxxvi) de los estándares cuantitativos, se indica que la medición del valor en riesgo se debe realizar con periodicidad diaria. Independientemente del modelo empleado, a efectos de utilizar las estimaciones de los modelos en el cálculo del capital regulatorio (Párr. 718(Lxxvi)) se debe cumplir lo siguiente:

- emplear un horizonte de medición del riesgo de 10 días
- el periodo de observación (la muestra de datos utilizados en el cálculo del VaR) debe ser, como mínimo, igual a un año
- el nivel de confianza utilizado es el 99%

La pertinencia de algunas de las recomendaciones de esta sección es cuestionable. Por ejemplo, el punto e) del párr. 718(Lxxvi) indica que los “conjuntos de datos” se deben actualizar al menos una vez cada tres meses y “cada vez que los cambios hayan sufrido cambios importantes”. Para que la medición del riesgo de mercado sea relevante y se pueda llevar a cabo la gestión activa que exigen las normas de las posiciones de negociación, los datos empleados deberían actualizarse diariamente, recogiendo los movimientos más recientes disponibles y no los ocurridos con tres meses de anterioridad.

En el punto i) se establece que los requerimientos mínimos de capital se deben cumplir diariamente y para cada fecha  $t$  serán iguales al valor más alto entre:

- el valor en riesgo calculado el día anterior para el día  $t$
- el promedio del valor en riesgo calculado con horizonte diario en los 60 días hábiles anteriores, al que se aplica un factor de multiplicación mínimo igual a 3.

$$CMR_t = \max \left( VaR_t; m \times \frac{VaR_{t-60} + VaR_{t-59} + \dots + VaR_{t-1}}{60} \right)$$

El valor final del factor de multiplicación lo establecen las autoridades supervisoras de cada país, en función de los resultados de las pruebas de contraste y su valoración acerca de la precisión de los modelos y la calidad del sistema interno de gestión de riesgos de cada banco. Los bancos deberán aumentar este factor en una cantidad comprendida entre 0 y 1, en base



al resultado de los test de contraste y el cumplimiento de todos los estándares cualitativos<sup>32</sup>. Las normas recogen también la potestad de las autoridades supervisoras nacionales para aplicar estándares más estrictos que lo que plantean las normas para los bancos que calculan sus requerimientos de capital con modelos VaR.

## **2.5 Requerimientos de capital para riesgo específico para los instrumentos clasificados en la cartera de negociación**

Aparte del capital en concepto de lo que Basilea II denomina “riesgo general de mercado” las normas establecen requerimientos de capital en concepto de “riesgo específico” para los instrumentos de capital y los títulos de deuda clasificados en la cartera de negociación. El riesgo específico hace referencia a posibles pérdidas que se pueden registrar por la variación en el precio de un instrumento y que se deben a factores relacionados con su emisor. Según la definición de Basilea:

“El riesgo específico incluye la posibilidad de que un valor de deuda o una acción oscilen en mayor o menor medida que el mercado general en su negociación diaria (incluso en periodos de volatilidad generalizada en el mercado) y también incluye el riesgo de imprevistos o *event risk* (donde el precio de un valor de deuda o una acción se desestabiliza con respecto al mercado general, por ejemplo, en una oferta pública de adquisición o algún otro acontecimiento intempestivo; también se incluiría el riesgo de impago)” (Nota 112, párr. 701-iii)

Sobre el cálculo del capital regulatorio para riesgo específico en el marco de los modelos internos, el párrafo 701 iii) especifica que:

“La mayoría de los modelos internos se concentran en la exposición del banco al riesgo general de mercado, dejando normalmente la medición del riesgo específico (es decir, exposición a emisores concretos de acciones o deuda) para los sistemas de medición del riesgo crediticio. Los bancos que utilicen modelos deberán estar sujetos a requerimientos de capital sobre aquellos riesgos específicos que no identifiquen sus modelos. Así pues, se aplicará un requerimiento de capital independiente por riesgo específico a cada banco que utilice un modelo propio, en la medida en que éste no capture dicho riesgo”.

---

<sup>32</sup> A este respecto, se establece que las pruebas de contraste se deben realizar en muestras consecutivas de 250 observaciones. Esto permite aumentar el factor de multiplicación o disminuirlo en base al número de excesos registrados, que representan el número de veces que las pérdidas estimadas con el modelo superan las pérdidas reales. Se especifica también que un modelo se puede autorizar, aunque el número de excesos se encuentre en la “zona roja” (se han registrado más de 10 excesos en 250 días). Véase el Anexo 10a de Basilea II, para más detalles.

En los párrafos 718(Lxxxvii) a 718(xcviii) se indica cómo calcular esta exigencia de capital por riesgo específico.

718(Lxxxvii): Cuando un banco utilice una estimación del VaR que incorpore el riesgo específico y que cumpla los requisitos cualitativos y cuantitativos para utilizar los modelos para el riesgo general, podrá basar su requerimiento de capital en estimaciones modeladas, siempre que sus modelos cumplan los criterios y requisitos adicionales establecidos a continuación. Aquellos bancos que no consigan cumplir estas exigencias adicionales deberán basar sus cálculos de capital por riesgo específico en el requerimiento total por riesgo específico calculado con el método estándar.

Las exigencias de capital para riesgo específico en el método estándar están dadas por la tabla que se reproduce a continuación.

<b>Categorías</b>	<b>Evaluación de crédito externa</b>	<b>Requerimientos de capital por riesgo específico</b>
Gobierno	AAA hasta AA-	0%
	A+ hasta BBB-	0,25% (vencimiento residual inferior o igual a 6 meses)
		1% (vencimiento residual superior a 6 meses e inferior o igual a 24 meses)
		1,6% (vencimiento residual superior a 24 meses)
	BB+ hasta B-	8%
Admisibles	Inferior a B-	12%
	Sin calificación	8%
		0,25%
		1%
Otros		1,6%
	Similar a las exigencias de capital por riesgo de crédito con el método estándar del Marco Baseila II, ej.:	
	BB+ hasta B-	8%
	Inferior a B-	12%
	Sin calificación	8%

Fuente: Párrafo 710

Los criterios para que el supervisor reconozca los modelos de los bancos para calcular el riesgo específico están recogidos en el párrafo 718(Lxxxviii). Para que se reconozca que un modelo incorpora el riesgo específico, éste debe ser capaz de:

explicar la variación histórica de los precios en la cartera

- reflejar las concentraciones (magnitud y cambios en la composición)
- ser sólido ante circunstancias adversas
- reflejar el riesgo de base idiosincrásico

- reflejar el riesgo de eventos imprevistos
- estar validado mediante comprobación

En un párrafo posterior se añaden algunas menciones adicionales acerca de la componente de riesgo de impago comprendida en la categoría de específico:

718(xcii). Asimismo, el banco debe contar con un sistema que le permita reflejar en su capital regulador el riesgo de incumplimiento (impago) de su cartera de negociación, que se añade al riesgo recogido en el cálculo basado en VaR descrito en el párrafo 718 (Lxxxviii). A fin de evitar un doble cómputo, el banco tendrá en cuenta al calcular esta exigencia de capital adicional, hasta qué punto ya se ha incorporado el riesgo de incumplimiento en el cálculo del VaR, especialmente para posiciones de riesgo que podrían cerrarse en el plazo de 10 días en caso de condiciones de mercado adversas u otros indicadores de deterioro de las condiciones crediticias. Para calcular este riesgo de incumplimiento adicional, no se prescribe ningún método concreto, sino que se establece que el banco podrá utilizar sus modelos internos o aplicar un recargo aparte. En este último caso, el recargo no estará sujeto a un multiplicador ni a comprobaciones reguladoras (*“backtesting”*), si bien el banco deberá ser capaz de demostrar que el recargo cumple su propósito”.

Según se ha apuntado al comienzo del apartado 2.5, la definición de riesgo específico de Basilea II incluye dos componentes:

- la posibilidad de que un valor de deuda o una acción oscilen en mayor o menor medida que el mercado general en su negociación diaria
- otros eventos imprevistos, incluido el riesgo de impago

Gran parte de las instancias del riesgo específico definidas en normas de Basilea II forman parte del riesgo de mercado. La diferencia entre lo que se denomina “riesgo general de mercado” y “riesgo específico” surge en el método estándar diseñado por el Comité, donde se distingue entre factores generales del mercado y los movimientos adversos en el precio de un título debido a factores relacionados con su emisor. Esta distinción no es sencilla en la práctica, pero como en el método estándar se establecen los requerimientos de capital con independencia del riesgo de emisor, las normas se complementan con el requerimiento por riesgo específico. Este requerimiento se mantiene en el método basado en modelos internos.

Según el párrafo 718(Lxxxvii) a los bancos que demostraban que sus modelos VaR incorporaban el riesgo específico, no se les exigía capital adicional aparte del capital calculado en base a los modelos VaR. Los modelos VaR sí recogen una parte de lo que se

define como riesgo específico en las normas de Basilea. En la medida en la que la volatilidad de los rendimientos de los instrumentos financieros se calcula en base a las variaciones de los precios de mercado que recogen lo que se podrían denominar “factores específicos al emisor” como, por ejemplo, noticias sobre cambios en la dirección de una empresa, o sobre resultados de beneficios que ésta hace públicos, cambios en la dirección, el desarrollo de una nueva línea de negocios, un aumento o una rebaja de su calificación etc. Este tipo de acontecimientos pueden generar compras y ventas de los títulos emitidos por una entidad en base a las expectativas de los operadores de mercado acerca de la evolución futura de los precios de dichos instrumentos, por lo que se puede considerar que el VaR refleja estos movimientos, en la medida en la que las pérdidas futuras se estiman en base a la variación de los precios de mercado.

Pero lo que de ninguna manera mide el VaR es el riesgo de crédito, denominado riesgo de impago en los apartados citados anteriormente (la probabilidad de que el emisor no pueda hacer frente a sus obligaciones de pago). El riesgo de crédito se refiere a la posibilidad de que un emisor incumpla sus obligaciones de pago con sus acreedores. Un evento de riesgo de esta naturaleza efectivamente genera variaciones en el precio de las acciones o los títulos de deuda emitidos por dicha empresa. Sin embargo, las consecuencias últimas derivadas del incumplimiento de un emisor son imprevisibles. Existen escenarios en los que un emisor que haya incumplido en un momento determinado, llega a recuperarse lo que impactará en los precios de los activos que haya emitido. Pero también hay casos en los que un incumplimiento puede ser la antesala de una quiebra y en este caso, no habría recuperación del valor de los títulos emitidos por la entidad quebrada. El impacto que el incumplimiento puede generar para los inversores en los títulos del emisor que incumple, depende también de otros elementos como pueden ser el grado de liquidez del instrumento o la existencia de garantías. Adicionalmente, si el emisor es una entidad financiera, existe el peligro de que la quiebra desencadene una crisis sistémica<sup>33</sup>.

Según indica el párrafo 718(xcii) un banco que utilice el método basado en modelos internos para calcular el riesgo de mercado deberá contar con un sistema que le permita reflejar el

---

<sup>33</sup> Se volverá sobre estos temas en el Capítulo 7.

riesgo de impago de su cartera de negociación. O lo que es lo mismo, deberá estimar la probabilidad de incumplimiento de los emisores de los títulos que mantiene en su cartera de negociación y las pérdidas que ello generaría, pero no se prescribe ningún método concreto para calcular este riesgo, sino que se indica de manera poco esclarecedora que “el banco podrá utilizar sus modelos internos o aplicar un recargo aparte”, que “no estará sujeto a un multiplicador ni a las comprobaciones reguladoras”.

En el párrafo 718 (xc) se hace referencia a que los modelos internos deben incorporar también el riesgo de liquidez, pero las dificultades de modelización de este tipo de riesgo llevan a que tampoco se prescriba ningún método concreto para calcular los requerimientos de capital.

718(xc). El modelo utilizado por el banco deberá estimar de un modo conservador el riesgo derivado de posiciones con menor liquidez y/o con escasa transparencia de precios, utilizando para ello escenarios de mercado realistas.

## **2.6 La enmienda para riesgo de mercado a la regla neta de capital de EEUU:**

En el año 2004 en Estados Unidos entran también en vigor normas que permiten a las entidades que realizan transacciones en los mercados de valores, por cuenta propia o ajena, y que son parte de bancos comerciales y bancos de inversión supervisados, calcular los requerimientos de capital para sus posiciones de negociación en base a modelos VaR<sup>34</sup>. A través de una enmienda a la regla neta de capital<sup>35</sup> emitida en 1975 por la Comisión del Mercado de Valores de Estados Unidos (en adelante la Comisión) se introduce el denominado “método alternativo” que comprende reglas para calcular el capital para riesgo de mercado y riesgo de crédito asociado a las posiciones en instrumentos derivados (también denominado riesgo de contraparte). El método alternativo es de adopción voluntaria, sujeta a la autorización de la Comisión en base al cumplimiento por parte de las entidades solicitantes de varios requisitos detallados en los Anexos E y G que enmiendan la regla neta de capital vigente en 2004.

Para recibir y mantener la autorización de calcular los requerimientos de capital con el método alternativo, se exige que las entidades solicitantes, sus matrices y sus filiales pasen a estar supervisadas por la Comisión, en caso de que no estuvieran bajo la supervisión de un organismo distinto<sup>36</sup>, y estén sujetas a una serie de requisitos administrativos, requisitos relacionados con la gestión interna de los riesgos, la medición del capital regulatorio y el suministro de información a la Comisión. Las matrices que se encontrasen bajo la jurisdicción de otra entidad supervisora y cuyas filiales están autorizadas a emplear el método alternativo, mantienen la obligación de proporcionar información anual a la Comisión acerca del grupo consolidado (tales como balances consolidados, cuenta de resultados o mediciones de capital según los exigidos por su regulador principal).

---

<sup>34</sup> El título oficial es “Método alternativo para computar requerimientos de capital para entidades que operan en los mercados de valores por cuenta propia o ajena y pertenecen a entidades supervisadas en base consolidada y holdings supervisados de bancos de inversión”

<sup>35</sup> Formalmente Regla 15c3-1 de la Parte 240 del Título 17, Capítulo II del Código de Regulaciones Federales

<sup>36</sup> Como es el caso de los bancos de inversión

A continuación, recogemos las reglas para calcular el capital por riesgo de mercado comprendidas en el Anexo E a la Regla neta de capital (SEC 2004). Las referencias de este apartado se refieren a dicho anexo si no se especifica lo contrario.

Los métodos que las entidades financieras pueden utilizar para el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado en el marco del método alternativo incluyen los modelos VaR. De manera similar a las normas del Comité de Basilea, para ser aprobados, los modelos VaR deben estar integrados en la gestión diaria de las entidades (Párr. (d)(1)) y tener las siguientes características:

- El valor en riesgo se debe calcular con un nivel de confianza asimétrico del 99% y horizonte igual a 10 días laborales (Párr. (d)(2)(ii))
- El periodo de observación debe ser igual a un año y el periodo de actualización de los datos debe ser de al menos un mes o cada vez que se hayan experimentado cambios significativos en los precios o las correlaciones de las posiciones (Párr. (d)(2)(iii));
- El capital para riesgo de mercado debe ser igual al VaR de las posiciones para las que está autorizado el empleo de esta metodología, multiplicado por un factor de multiplicación cuyo valor mínimo es igual a 3 (Párr. (b)(1))
- La frecuencia de estimación del VaR debe ser diaria como parte de la gestión interna, y las entidades deben cumplir con los requerimientos de capital en todo momento, sin embargo, a efectos de información al supervisor, se exige la elaboración de informes mensuales

### **2.6.1 Factor de multiplicación**

El factor de multiplicación está comprendido entre un mínimo igual a 3 y un máximo igual a 4 y su valor exacto depende del número de excepciones registradas en los test de contraste de los modelos. Las excepciones se refieren al número de veces en el que las pérdidas diarias registradas en las posiciones de negociación son superiores a las pérdidas estimadas con el modelo VaR, utilizando un nivel de confianza del 99% y horizonte diario, durante 250 días. El factor de multiplicación se aplicará según la Tabla 2.5:

Tabla 2.5 Factor de multiplicación basado en el test de contraste del modelo VaR

Número de excepciones	Factor de multiplicación
4 o inferior	3,00
5	3,40
6	3,50
7	3,65
8	3,75
9	3,85
10 o superior	4,00

### 2.6.2 Riesgo específico

El apartado (b)(2) indica que se debe computar asimismo capital en concepto de riesgo específico para posiciones individuales. El apartado (d)(1)(iv) indica que para que se pueda considerar que un modelo VaR incorpora la estimación del riesgo específico, la entidad debe demostrar que las metodologías que utiliza reflejan el riesgo de liquidez, incumplimiento y el riesgo relacionado con eventos imprevistos para cada posición. Para las posiciones cuyo VaR no incorpora la estimación de dicho riesgo, el importe de los requerimientos de capital se determinará por la Comisión.

### 2.6.3 Requerimientos de capital para la matriz

Uno de los requisitos para las matrices supervisadas por la Comisión y cuyas subsidiarias aplican el método alternativo es que calculen sus requerimientos de capital para riesgo de mercado y crédito, de la manera descrita en la sección anterior, y también para riesgo operacional (Párr. (a)(3)(i)(A)-(F) del Anexo G). Los requerimientos de capital para riesgo de mercado se deben computar para todas las posiciones por cuenta propia y consisten en multiplicar el VaR de dichas posiciones por el factor de multiplicación adecuado en función de los resultados de las pruebas de contraste de los modelos VaR. El capital en concepto de riesgo de crédito se debe computar para los instrumentos del balance consolidado y también para instrumentos fuera de balance, incluidos préstamos, exposiciones a contrapartes en derivados, productos estructurados y otros tipos. Para los préstamos y otras facilidades de



crédito, el equivalente de crédito se determina multiplicando el nominal del contrato por una serie de factores de conversión entre 0% y 100%, en función de las características de la facilidad. Se puede solicitar igualmente aprobación para emplear un método consistente con las normas de Basilea. Los requerimientos para riesgo operacional se deben computar con arreglo a las normas de Basilea.

Adicionalmente las entidades que solicitan la autorización para emplear el método alternativo o sus matrices en caso de ser entidades supervisadas por la comisión deben presentar una descripción detallada de sus sistemas de gestión de riesgos y justificar que los mismos cumplen los requisitos de la regla neta de capital, expuestas en *Sistemas internos de control de gestión de riesgos para entidades que negocian derivados OTC* (Párr. (a)(1)(i) del Anexo G). Adicionalmente se menciona que la Comisión puede exigir que las entidades bajo su supervisión tomen medidas adicionales a las establecidas en la Regla 15c3-1 y sus anexos para recibir la autorización de aplicar el método alternativo, tales como limitar la exposición a ciertas contrapartes o instrumentos, realizar cambios en los sistemas internos de gestión o similares.

# Capítulo 3. Modelos VaR para instrumentos de capital

## 3.1 Introducción

Las acciones cotizadas en los mercados bursátiles son unos de los instrumentos más líquidos de los mercados financieros y componen una parte importante de las carteras de negociación de los bancos. Como todo instrumento mantenido en la cartera de negociación, las acciones, compradas o en posición corta, se deben valorar a precio de mercado. Por tanto, las variaciones diarias de los precios pueden generar ganancias o pérdidas para los bancos que mantienen estos títulos en las carteras de negociación, que pueden ser realizadas (por operaciones de compra y venta) o de valoración (por la actualización diaria de los precios en los libros, según la evolución del precio de mercado). En ambos casos las pérdidas se deben reflejar a diario en la cuenta de resultados del banco. Las pérdidas pueden ser debidas tanto a movimientos al alza como a la baja de los precios, siendo los movimientos a la baja las pérdidas de una posición larga y los aumentos las de una posición corta.

En el presente capítulo se estima el VaR para veinte instrumentos de capital (acciones ordinarias) emitidos por algunas de las más grandes empresas internacionales, tanto financieras como no financieras con sede en Estados Unidos; las acciones de estas empresas están entre los títulos más negociados en el mercado bursátil de Nueva York (NYSE). Se emplea para ello un modelo VaR paramétrico y dos técnicas distintas para estimar la volatilidad para cada instrumento individual y se sigue el mismo procedimiento para toda la cartera, tomando en cuenta la evolución conjunta de los precios de todas las acciones que la componen. Se utilizan datos que abarcan un periodo de 14 años, entre el 03/01/2000 y 25/02/2014 y se contrastan las estimaciones obtenidas con las pérdidas efectivas que registrarían los tenedores de las acciones.

Las empresas cuyas acciones se han seleccionado pertenecen a las principales entidades por volumen de capitalización del selectivo SP500 (Tabla 3.1) del sector financiero, industrial, IT, energético, salud y consumo. Aunque en la clasificación del índice están asignadas a una

categoría específica, las actividades de muchas de estas corporaciones están diversificadas en más de uno de los mencionados sectores. La tercera columna de la Tabla 3.1 muestra el puesto que cada una ocupa en la lista elaborada por la revista Fortune en el año 2015, de las 500 empresas más importantes por nivel de ingresos con matriz registrada en Estados Unidos.

Tabla 3.1 Acciones seleccionadas del índice SP500

Sector	Empresa	Puesto Fortune500 2015
Financiero	AIG	46
	Berkshire Hathaway	4
	Citigroup	28
	American Express	88
	Bank of America	23
	Wells Fargo	30
	JP Morgan	20
Consumo	Coca Cola	63
	McDonald's	110
	Walt Disney Co.	57
	Wal-Mart	1
Salud	Johnson & Johnson	37
	Procter & Gamble	32
Energético	Conoco Philips	51
	Chevron	3
	Exxon	2
IT	Apple	5
	Microsoft	31
Industrial	Boeing	27
	General Electric	8

Fuente: <http://fortune.com/fortune500/>

La extensión de las series históricas y las características de los títulos elegidos permiten analizar la capacidad predictiva de los modelos de riesgo en distintas etapas de la dinámica económica internacional en la que se han sucedido momentos de tensión que han afectado de manera más pronunciada a sectores específicos o que han generado importantes convulsiones en el conjunto de los mercados bursátiles. En el periodo 2000-2014 han ocurrido dos importantes crisis ligadas al sistema financiero, con el estallido de la burbuja tecnológica del 2000-2001 y la crisis financiera que comenzó en el verano del año 2007.

Aparte de los episodios de crisis, es relevante la etapa de crecimiento económico y de los precios de los activos, entre los años 2000 y 2007, y el periodo posterior a la crisis del 2007, marcado por una prolongada recesión y estancamiento de la actividad económica. A lo largo del periodo analizado se pueden observar distintas dinámicas de incrementos y caídas en los precios de las diferentes acciones y en la variación de las rentabilidades, como se muestra en los Anexos 1 y 2.

La liquidez de los títulos elegidos permite realizar a diario la comparación de las pérdidas estimadas con los modelos VaR con las pérdidas reales que registrarían los bancos que tuvieran estos títulos en sus carteras de negociación.

En los dos siguientes apartados se expone el modelo VaR utilizado y la metodología para realizar el test de contraste. En los apartados 3.5 y 3.6 se exponen los dos métodos alternativos para calcular la volatilidad y se analizan los resultados obtenidos con cada modelo. En base a las pérdidas estimadas, se calcula el capital regulatorio que, según Basilea II, sería exigible a los bancos por la tenencia de las acciones en la cartera de negociación.

### 3.2 Modelo VaR para instrumentos de capital

El modelo VaR utilizado pertenece a la categoría de modelos paramétricos y se define para una cartera de acciones (idénticas) como:

$$\text{VaR}(\alpha)_{t+h} = NP_t k(\alpha) \sigma_{R_t} \sqrt{h}$$

$\text{VaR}(\alpha)_{t+h|t}$  es el VaR calculado el día  $t$  para el día  $t+h$

$h$  representa el horizonte temporal para que se estiman las pérdidas máximas (1 día y 10 días respectivamente en todas las estimaciones realizadas)

$\alpha$  representa el nivel de significación para el que se calcula el VaR, tal que  $1-\alpha$  será el nivel de confianza. Los niveles de confianza empleados en este trabajo son el 95% y 99%.

$N$  es el número de acciones

$P_t$  es el precio diario de cierre de la acción

$k(\alpha)$  es el percentil que corresponde al nivel de significación elegido en una distribución normal estándar

Tabla 3.2 Percentiles 95% y 99% en una distribución normal estándar

$1 - \alpha$	$k(\alpha)$
95%	1,65
99%	2,33

$\sigma_{R_t}$  es desviación típica o volatilidad condicional de la rentabilidad de las acciones de cada la empresa y es igual a la raíz cuadrada de la varianza calculada en cada fecha  $t$  para la fecha  $t+1$ . La volatilidad no es un dato observable y se debe estimar por algún procedimiento en base a los datos observables, que son los precios diarios. Debido a que los precios de las acciones no siguen generalmente un proceso estacionario (Anexo 1), se modelizan las variaciones relativas de los mismos, las rentabilidades de las acciones (Anexo 2). Para el cálculo de las volatilidades de la rentabilidad de cada título se emplean dos metodologías: una media móvil ponderada exponencialmente, con las ponderaciones estimadas en el modelo RiskMetrics para datos diarios, y un modelo GARCH (1,1).

El VaR es una metodología para medir el riesgo de mercado, entendido como la posibilidad de sufrir pérdidas por la variación de los precios de los instrumentos financieros. Los modelos se emplean para estimar la “variación extrema” de los precios bajo ciertas hipótesis acerca de la distribución de probabilidad de los factores de riesgo de los que dependen dichas variaciones (cuando se emplea un modelo paramétrico, como es el caso en este capítulo) y considerando un nivel de confianza elevado, generalmente por encima del 95%, y un horizonte temporal corto, entre 1 día y 10 días. Por tanto, para llegar a la fórmula anterior se parte de considerar una determinada distribución de probabilidad de las variaciones de los precios de los activos.

Como se ha expuesto en el Capítulo 2 es posible emplear cualquier supuesto distribucional para modelizar las distribuciones condicionales y en este ejercicio se ha optado por el supuesto de normalidad condicional, según el cual la variación relativa diaria de cada acción sigue una distribución normal condicional. La distribución se considera condicional a un conjunto relevante de información, formado en este caso, por valores de las rentabilidades de las fechas anteriores.

Llamando  $R_t$  a la variación relativa diaria o rentabilidad diaria de una acción y  $P_t$  al precio de cierre de la acción en cada fecha  $t$ , se tiene:

$$R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

Se denomina  $\Phi_{t-1}$  al conjunto de información disponible en la fecha  $t$ , y empleando la notación convencional se puede escribir:

$$R_{t/\Phi_{t-1}} \sim N(0, \sigma_{R_t}^2)$$

El VaR al nivel de confianza  $1-\alpha$  y horizonte diario se define como el valor extremo  $\Delta P^*$  de las pérdidas  $\Delta P$  que será superado con una probabilidad  $\alpha$ :

$$\text{Prob}(\Delta P \geq \Delta P^*) = \alpha$$

$$\Delta P = P_t - P_{t-1}$$

Las pérdidas de una posición larga están dadas por las variaciones negativas y de una posición corta, por las variaciones positivas. Expresado en función de las variaciones relativas diarias:

$$\text{Prob}(R_t \geq R_t^*) = \alpha$$

Dividiendo  $R_t$  por su desviación típica  $\sigma_{R_t}$  obtenemos una variable normal estándar para la que, una vez elegido  $\alpha$ , podemos obtener fácilmente el valor crítico correspondiente, denominado  $k(\alpha)$ .

$$\frac{R_t}{\sigma_{R_t}} \sim N(0,1)$$

$$\text{Prob}\left(\frac{R_t}{\sigma_{R_t}} \geq k(\alpha)\right) = \alpha$$

Lo anterior es equivalente a:

$$\text{Prob}(R_t \geq k(\alpha)\sigma_{R_t}) = \alpha \text{ o } \text{Prob}\left(\frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \geq k(\alpha)\sigma_{R_t}\right) = \alpha$$

En base a la expresión anterior el VaR al nivel de confianza  $1 - \alpha$  y horizonte diario se define como:

$$\text{VaR}(\alpha) = \Delta P^* = P_t k(\alpha) \sigma_{R_t}$$

De tal manera que, en base al supuesto realizado acerca de la distribución de probabilidad de  $R_t$ , la variación diaria del precio de la acción será mayor que el VaR con una probabilidad  $\alpha$ .

El VaR para un horizonte temporal superior al horizonte diario  $h$  se obtiene multiplicando el VaR diario por la raíz cuadrada de  $h$ , operación justificada por la regla de agregar volatilidades bajo el supuesto de que las rentabilidades entre  $t$  y  $t+10$  son variables aleatorias idéntica e independientemente distribuidas<sup>37</sup>.

$$\text{VaR}(\alpha)_{t+h} = P_t k(\alpha) \sigma_{R_t} \sqrt{h}$$

Por ejemplo, el VaR a 10 días se obtiene multiplicando el VaR diario por 3,16, la raíz cuadrada de 10.

Considerando un número  $N$  de acciones, se obtiene la expresión formulada al inicio de esta sección:

$$\text{VaR}(\alpha)_{t+h} = N P_t k(\alpha) \sigma_{R_t} \sqrt{h}$$

Los modelos VaR individuales se calculan para los niveles de confianza 95% y 99%. Para cada nivel de confianza se calcula el VaR diario y con horizonte 10 días. Siguiendo los requisitos de Basilea II, los requerimientos mínimos de capital se computan en base a los modelos al 99% y 10 días para para categoría de activos.

### **3.3 Modelo VaR de una cartera formada por instrumentos de capital emitidos por varias empresas**

En el caso de una cartera compuesta por acciones de distintas empresas el VaR debe reflejar las variaciones de los precios de todas las acciones que la componen Considerando una

---

<sup>37</sup> Véase Anexo 3

cartera formada por acciones de 20 empresas, con  $N$  acciones de cada empresa y  $N$  constante, el valor diario de la cartera,  $V_t$ , está dado por la suma de los precios de mercado de cada acción.

$$V_t = N \sum_{i=1}^{20} P_{i,t}$$

$P_{i,t}$  son los precios diarios de cierre de las acciones de cada empresa  $i$ .

A efecto del presente ejercicio, se considera  $N$  igual a 1.000.

Para calcular el VaR de la cartera, se toman en cuenta las correlaciones entre las variaciones de los precios de las acciones. Sea  $\mathbf{X}_t$  el vector fila de los VaR individuales, estimados en la fecha  $t$  para  $t+h$  según se ha definido anteriormente.

$$\mathbf{X}_t = [\text{VaR}_1 \quad \text{VaR}_2 \quad \dots \quad \text{VaR}_{20}]$$

Por VaR individuales se entienden los VaR calculados al nivel de confianza  $1 - \alpha$  y horizonte  $h$  para cada las  $N$  acciones de cada empresa.

El VaR de la cartera al mismo horizonte y nivel de confianza se puede escribir como:

$$\text{VaR}(\alpha)_{V_t} = \sqrt{\mathbf{X}_t^T \rho_t \mathbf{X}_t}$$

$\mathbf{X}_t^T$  es el vector transpuesto de  $\mathbf{X}_t$

$\rho_t$  es la matriz de correlaciones que se compone de los coeficientes de correlación diarios entre los 20 títulos de la cartera.

$$\rho_t = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{1-2} & \dots & \rho_{1-20} \\ \rho_{2-1} & 1 & \dots & \rho_{2-20} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{20-1} & \rho_{20-2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Los coeficientes de correlación para cada fecha  $t$  se calculan el día anterior como cociente entre las covarianzas de las rentabilidades de las acciones de cada pareja de empresas  $\sigma_{t,ij}$  y las volatilidades condicionales  $\sigma_{t,i}$  y  $\sigma_{t,j}$  estimadas en  $t-1$  para  $t$ .



$$\rho_{t,ij} = \frac{\sigma_{t,ij}}{\sigma_{t,i}\sigma_{t,j}}$$

En el apartado 3.5, junto con la metodología para estimar la volatilidad, se expondrá la manera en la que se han calculado las covarianzas y coeficientes de correlación.

El VaR de la cartera se calcula al 95% y 99% de confianza y con horizonte 1 día y 10 días. El capital regulatorio para la cartera se calcula en base al modelo al 99% y 10 días.

### **3.4 Pruebas de contraste (*backtesting*) de los modelos VaR**

Para determinar la precisión de los modelos VaR en primer lugar se lleva a cabo un análisis de la frecuencia con la que las pérdidas efectivas producidas por la variación de los precios de las acciones superan las pérdidas estimadas con los modelos VaR. Las pérdidas estimadas con horizonte diario se comparan con las variaciones de los precios a un día y las pérdidas estimadas a 10 días con las variaciones de los precios a 10 días.

Cada vez que las pérdidas reales, dadas por las variaciones de los precios a 1 día o 10 días, superan las pérdidas esperadas, se considera que ha ocurrido un “exceso”. En los modelos al 95% se esperan alrededor de 5% de excesos o 5 días de cada 100 cuando las pérdidas superan las pérdidas estimadas. En los modelos al 99%, alrededor de un 1% o un día de cada 100. Si las pérdidas están generadas por las variaciones negativas de la cartera, los excesos ocurren cuando dichas variaciones en valor absoluto son mayores que el VaR, debido a que el VaR se define como un número positivo. Si las pérdidas están dadas por las variaciones positivas, un exceso ocurre cuando estas variaciones (expresadas por un número positivo) son mayores que el VaR.

En este capítulo el análisis se realiza desde la perspectiva de un banco que tiene una posición larga en las acciones por lo que las pérdidas están dadas por las variaciones negativas de los precios de dichas acciones.

Después de realizar un primer análisis de las frecuencias de excesos, medida como número total de excesos dividido por el número total de observaciones, se realiza el contraste estadístico, siguiendo la metodología desarrollada por Kupiec en el test de las frecuencias (1995). Se ha dicho ya que para un horizonte de confianza del 95% se espera que

aproximadamente 5 días de 100 días ocurran pérdidas mayores de que el VaR. Decimos aproximadamente porque existe la posibilidad de error muestral, dado que los 100 días elegidos no son más que una muestra de todos los días en los que se podría calcular el VaR. Por tanto, se puede aceptar cierta discrepancia entre los 5 días exactos y los días efectivamente observados en los cuales se producen excesos. Si existe un número de días mayor o menor que 5 en los que la variación del valor de la cartera supera el VaR, se necesita de una metodología para decidir qué desviación de ese número podemos considerar aceptable, sin rechazar la validez del horizonte temporal con el que se ha construido el modelo.

La hipótesis nula del test de Kupiec supone que la probabilidad con la que se producen las pérdidas extremas de la cartera es igual a la probabilidad con la que se ha construido el VaR. Para contrastar la hipótesis nula, Kupiec utiliza la razón de verosimilitud dada por:

$$RV = -2 \ln \frac{(1-p^*)^{n-x} (p^*)^x}{\left(1 - \frac{x}{n}\right)^{n-x} \left(\frac{x}{n}\right)^x}$$

$p^*$  es la probabilidad con la que se ha generado el VaR (equivalente a  $\alpha$  en las notaciones utilizadas en la definición del VaR de la sección anterior)

$n$  es el número de días de la muestra

$x$  es el número de excesos que se han observado en los  $n$  días

Bajo la hipótesis nula,  $RV$  sigue una distribución de probabilidad chi-cuadrado con 1 grado de libertad,  $\chi_1^2$ , con los siguientes valores críticos correspondientes a cada nivel de significación:

Tabla 3.3 Valores críticos  $\chi_1^2$

$\alpha_{\chi_1^2}$	0,01	0,02 5	0,05
$k(\alpha_{\chi_1^2})$	6,63 5	5,02 4	3,841

Por ejemplo, si  $p^*$  es 0,01 y en una muestra de 500 días (2 años aproximadamente) observamos 15 excesos (un 3%), el estadístico  $RV$  toma el valor:

$$RV = -2\ln \frac{(1-0,01)^{485}(0,01)^{15}}{\left(1-\frac{15}{500}\right)^{485}\left(\frac{15}{500}\right)^{15}} = 13,161$$

En este caso se rechaza la hipótesis nula ya que el valor crítico de una chi-cuadrado con 1 grado de libertad y nivel de significación del 1% es 3,841. Según como está construido el estadístico se necesitaría un valor de  $p^*$  más elevado para situar  $RV$  en la zona de aceptación. En el ejemplo anterior, el VaR estaría infravalorando el riesgo, ya que existe una probabilidad mayor que  $p^*$  de que las pérdidas sobrepasen al VaR calculado.

Si para el mismo nivel de  $p^*$  en otra muestra de 500 días se registran 8 excesos (o un 1,60%), el valor de  $RV$  sería:

$$RV = -2\ln \frac{(1-0,01)^{492}(0,01)^8}{\left(1-\frac{8}{500}\right)^{492}\left(\frac{8}{500}\right)^8} = 1,154$$

Este valor permite no rechazar la hipótesis nula debido a que es inferior al valor crítico de la chi-cuadrado al nivel de significación 5%.

El número de observaciones diarias del periodo analizado (número de días en los que se compara la variación de los precios con el VaR) es de 3557. Para un nivel de confianza del 95% se esperan alrededor de 178 excesos y 35 excesos aproximadamente si el VaR se estima al nivel de confianza del 99%.

### 3.5 Modelos VaR con volatilidad condicional estimada con una media móvil ponderada exponencialmente

La varianza diaria de las rentabilidades no es un elemento observable y existen distintas metodologías para obtener una estimación de este parámetro. Suponemos que las rentabilidades diarias  $R_t$  se distribuyen como variables aleatorias normales de media 0 y varianza  $\sigma_t^2$ .

$$R_t \sim N(0, \sigma_t^2)$$

Siguiendo la metodología RiskMetrics (Riskmetrics Group 1996) , la varianza se estima con un modelo basado en una media móvil ponderada exponencialmente al que nos referiremos como modelo EWMA a continuación (acrónimo habitualmente utilizado del inglés *exponentially weighted moving average*). En cada fecha  $t$  se estima la varianza condicional para la fecha  $t+1$  de la siguiente manera:

$$\sigma_t^2 = (1-\lambda)R_{t-1}^2 + \lambda\sigma_{t-1}^2$$

$R_{t-1}$  es la rentabilidad diaria de la acción y  $\sigma_{t-1}^2$  es la varianza estimada en la fecha  $t-2$  para la fecha  $t-1$ .

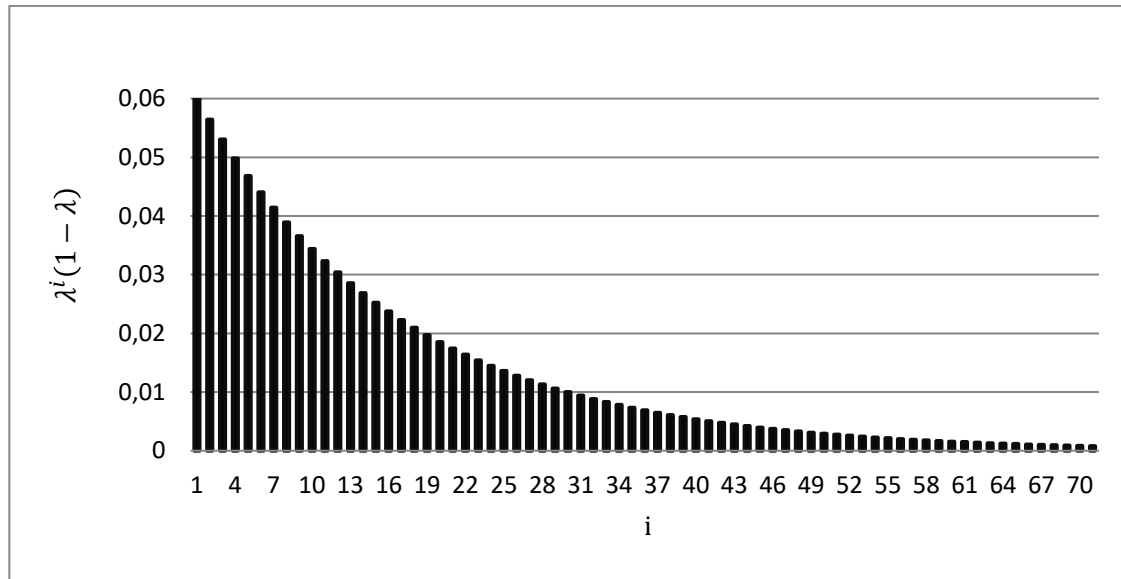
$$R_{t-1} = \frac{P_{t-1} - P_{t-2}}{P_{t-1}}$$

El valor del parámetro  $\lambda$  es 0,94 para datos diarios, de tal manera que las rentabilidades de las fechas pasadas reciben las siguientes ponderaciones<sup>38</sup>.

Gráfico 3.1 Ponderaciones EWMA

---

<sup>38</sup> Sustituyendo en la expresión anterior  $\sigma_{t-1}^2$  en función de  $R_{t-1}^2$  y  $\sigma_{t-2}^2$  (y así sucesivamente) se obtiene que  $\sigma_t^2$  se puede expresar como una suma de las rentabilidades pasadas elevadas al cuadrado, ponderada la más reciente por  $1-\lambda$  y las anteriores por  $\lambda^i(1-\lambda)$ , con  $i$  comprendido entre 1 y el número de observaciones totales de la muestra.



De forma similar, para el cálculo de las covarianzas condicionales entre dos activos  $i$  y  $j$  (utilizadas para calcular las correlaciones entre los títulos de la cartera) se utiliza la siguiente expresión, con  $\lambda$  igual a 0,94:

$$\sigma_{t,ij} = (1-\lambda)R_{t,i}R_{t,j} + \lambda\sigma_{t-1,ij}$$

Los modelos VaR individuales y de la cartera que incorporan las varianzas, covarianzas y correlaciones calculadas con la metodología RiskMetrics se denominarán a continuación modelos VaR EWMA.

### 3.5.1 VaR EWMA individuales al 95%

En prácticamente todos los modelos al 95%, el número de excesos registrados entre enero de 2000 y febrero de 2014 son próximos al nivel de confianza elegido. La frecuencia de los excesos registrados se muestra en los Gráficos 3.2 y 3.3.

En los modelos calculados con horizonte diario se cuenta con 3.556 observaciones y en los modelos a 10 días, el número de observaciones es 3.546. Para los modelos construidos al 95% se esperan alrededor de 5 excesos cada 100 días, por lo que en 3.556 días se espera registrar alrededor de 177 excesos.

Las frecuencias de excesos registrados por los modelos a 1 día se encuentran por debajo, pero próximos al 5% en la mayoría de los casos o sobrepasan ligeramente este valor. A 10 días las frecuencias son igualmente inferiores al 5%, pero en mayor medida que en los

modelos a 1 día. En dos casos, AIG y Citigroup, las frecuencias se alejan en mayor medida del valor esperado y se sitúa alrededor del 6%.

Gráfico 3.2 Excesos VaR EWMA individuales al 95% 1 día 2000-2014

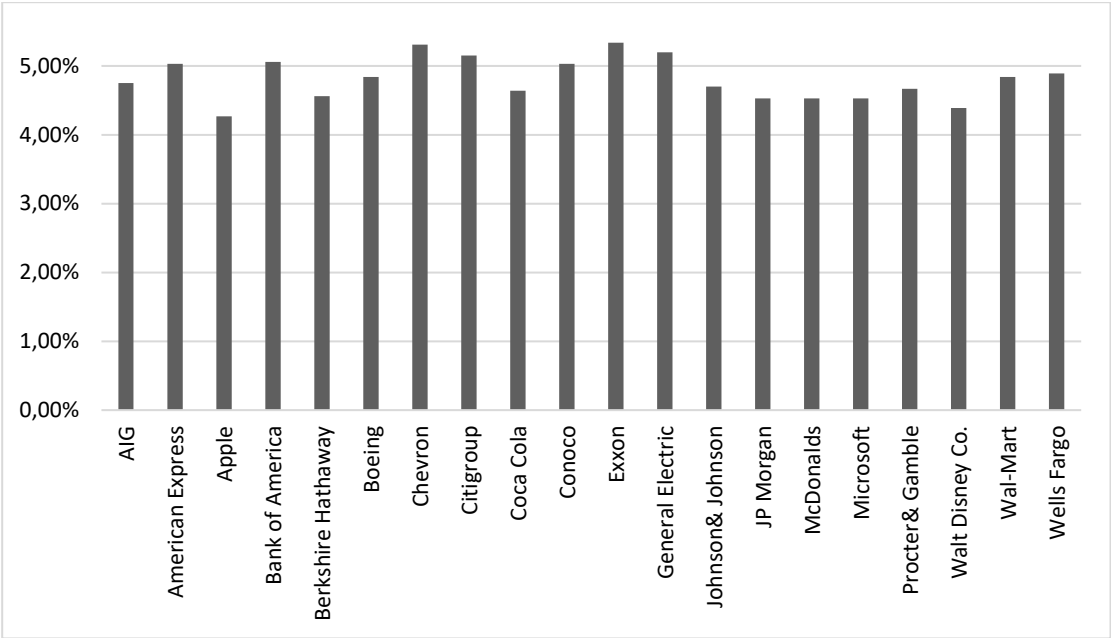
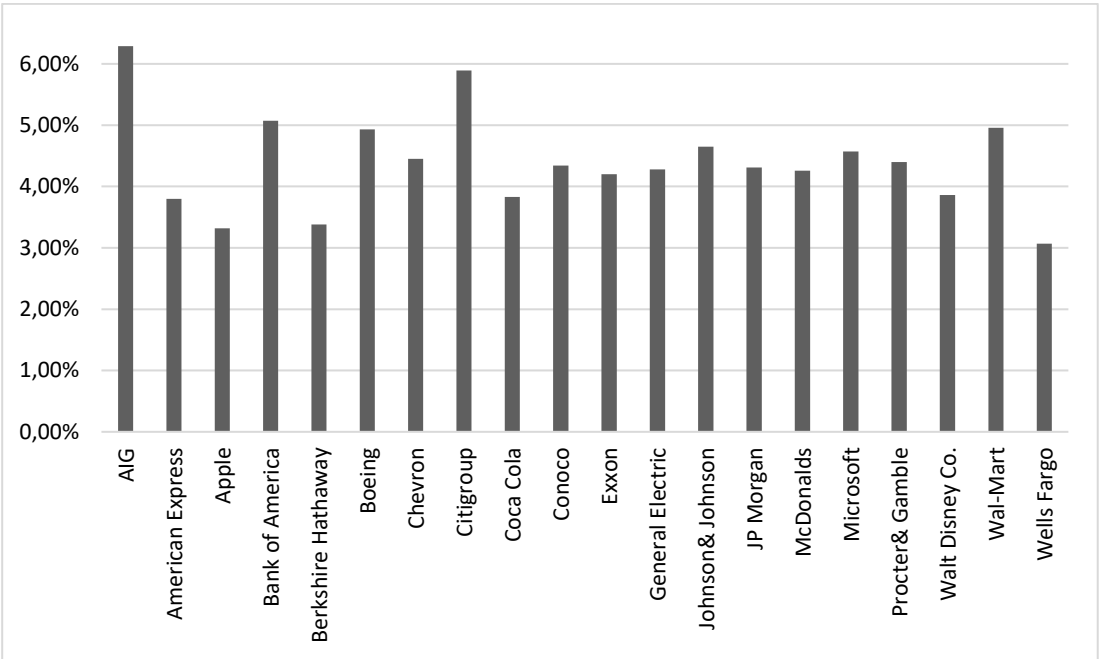


Gráfico 3.3 Excesos VaR EWMA individuales 95% 10 días 2000-2014



La Tabla 3.4 muestra el porcentaje de excesos al 95% con 1 día y 10 días de horizonte respectivamente y los valores de la razón de verosimilitud del test de Kupiec,  $RV$ . El valor de

RV calculado en base al número de excesos, las observaciones totales y el nivel de significación al que se ha construido el modelo VaR permite no rechazar la hipótesis nula en ninguno de los modelos con horizonte diario. La probabilidad de no rechazo es del 5% en la mayoría de los casos, aunque el nivel mínimo de no rechazo se considera el 1%, con un valor crítico de la chi-cuadrado con un grado de libertad de 6,635 (Ver Tabla 3.3). A 10 días se rechaza la nula en siete de los veinte modelos, concretamente en los modelos de las acciones de AIG, American Express, Apple, Berkshire Hathaway, Coca Cola, Disney y Wells Fargo.

Tabla 3.4 Contraste VaR EWMA 95% 2000-2014

Nivel de confianza 95%	1 día		10 días	
	Excesos	RV	Excesos	RV
AIG	4,75%	0,46	6,29%	11,47*
American Express	5,03%	0,01	3,80%	11,56*
Apple	4,27%	4,13	3,32%	23,58*
Bank of America	5,06%	0,03	5,07%	0,04
Berkshire Hathaway	4,56%	1,52	3,38%	21,91*
Boeing	4,84%	0,20	4,93%	0,03
Chevron	5,31%	0,73	4,45%	2,30
Citigroup	5,15%	0,16	5,89%	5,63
Coca Cola	4,64%	0,99	3,83%	10,99*
Conoco Philips	5,03%	0,01	4,34%	3,38
Exxon	5,34%	0,86	4,20%	5,03
General Electric	5,20%	0,30	4,28%	3,99
Johnson& Johnson	4,70%	0,70	4,65%	0,92
JP Morgan	4,53%	1,72	4,31%	3,68
McDonalds	4,53%	1,72	4,26%	4,33
Microsoft	4,53%	1,72	4,57%	1,43
Procter& Gamble	4,67%	0,84	4,40%	2,81
Walt Disney Co.	4,39%	2,92	3,86%	10,44*
Wal-Mart	4,84%	0,20	4,96%	0,01
Wells Fargo	4,89%	0,08	3,07%	31,95*
<i>*Se rechaza la hipótesis nula</i>				

Los modelos al 95% y horizonte 10 días, muestran un comportamiento peor en términos del test estadístico a pesar de que el número de excesos de la muestra está por debajo del 5% en 18 de los 20 títulos analizados, lo que se podría considerar un resultado positivo ya que las pérdidas reales superan las estimadas en un porcentaje menor que el esperado. Esto se

debe a que el valor de **RV** aumenta por encima del valor crítico cuando el porcentaje de excesos se aleja de la probabilidad con la que se ha construido el modelo, tanto por encima, cuando hay más excesos de los esperados, como por debajo, en el caso en el que se registran menos excesos.

Un ejemplo en este sentido es el caso del modelo construido para las acciones de American Express. En la muestra considerada hay 3.548 días en las que se pueden contrastar el VaR individual calculado para cada acción con la variación del precio de la misma a 10 días. Las pérdidas a 10 días del VaR calculado para American Express excedieron el VaR en un 3,80% de los casos, un porcentaje menor que el esperado 5%, lo que hace el valor de la razón de verosimilitud se sitúe en 11,56. Expresado en valor absoluto, se esperaban alrededor de 178 excesos y han ocurrido solamente 135, un número inferior al que permite no rechazar la hipótesis nula según los distintos niveles de confianza considerados.

El valor máximo de la zona de no rechazo de la hipótesis nula está en 179 excesos. En la Tabla 3.5 se muestran los valores mínimos de cada nivel de confianza.

Tabla 3.5 Número mínimo de excesos no rechazo

$\alpha$	$k(\alpha)$	Valor mínimo no rechazo	% Excesos
0,01	6,635	145	4,09%
0,025	5,024	150	4,23%
0,05	3,841	153	4,31%

De los siete modelos al 95% con horizonte 10 días para los que se rechaza la hipótesis nula, seis modelos registran un número menor de excesos que el esperado. Junto con American Express, los otros cinco son: Apple con un porcentaje de excesos del 3,32%, Berkshire Hathaway con 3,38%, Coca Cola con 3,83%, Walt Disney con 3,86% y Wells Fargo con 3,07%.

Se considera que los modelos tienen mayor precisión cuanto más cerca esté el número de excesos registrados del esperado. No obstante, desde un punto de vista regulatorio la presencia de un número de excesos menor puede ser interpretado como un resultado positivo, en cuanto a que proporcionan una estimación más conservadora del riesgo. Unas menores frecuencias de excesos pueden ser consideradas un elemento positivo también



porque uno de los propósitos regulatorios es que estos modelos sirvan de base para el cálculo de los requerimientos de capital y dicho capital se espera que sea lo suficientemente alto como para absorber el mayor porcentaje de pérdidas en momentos de crisis (sobre todo cuando los excesos siguen estando próximos a los esperados, que es el caso en los modelos analizados).

**3.5.2 VaR EWMA individuales al 99%**

En los VaR EWMA al 99% la frecuencia de excesos registrados entre enero de 2000 y febrero de 2014 es también próxima al nivel de significación elegido, según se muestra en los Gráficos 3.4 y 3.5. Los excesos a 1 y 10 días rondan el 1%, por lo que en términos generales los modelos muestran un comportamiento satisfactorio.

Gráfico 3.4 Excesos VaR RM individuales 99% 1 día 2000-2014

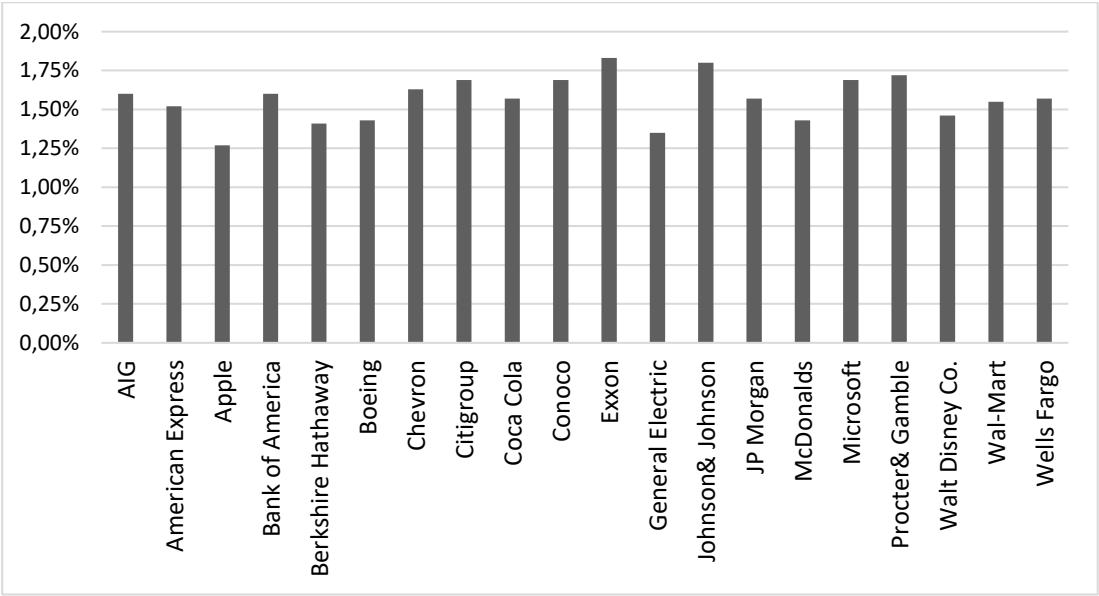
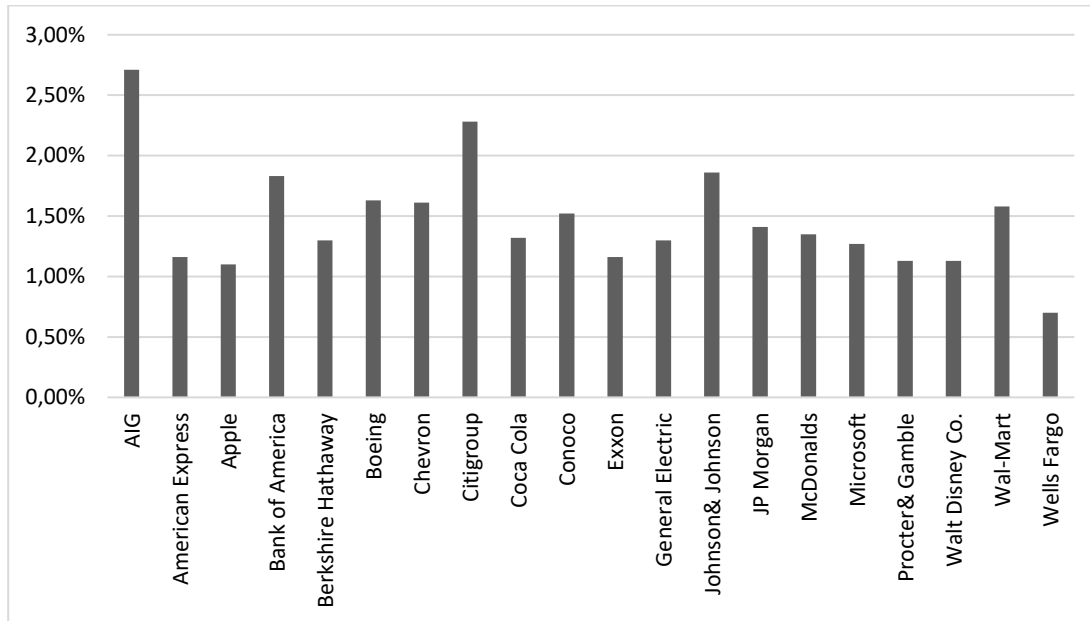


Gráfico 3.5 Excesos VaR RM individuales 99% 10 días 2000-2014



En la Tabla 3.6 se presentan los resultados del test estadístico obtenido con los modelos individuales VaR EWMA al 99%. Comparados con los modelos calibrados al 95%, existe un mayor número de situaciones donde el número de excesos supera el valor que permite no rechazar la hipótesis nula del test de Kupiec.

Tabla 3.6 Contraste VaR EWMA 99% 2000-2014

Nivel de confianza 99%	1 día		10 días	
	Excesos	RV	Excesos	RV
AIG	1,60%	11,03*	2,71%	71,15*
American Express	1,52%	8,33*	1,16%	0,08
Apple	1,27%	2,33	1,10%	0,34
Bank of America	1,60%	11,03*	1,83%	19,93*
Berkshire Hathaway	1,41%	5,25	1,30%	2,88
Boeing	1,43%	5,96	1,63%	12,12*
Chevron	1,63%	12,01*	1,61%	11,14*
Citigroup	1,69%	14,06*	2,28%	43,30*
Coca Cola	1,57%	10,10*	1,32%	3,43
Conoco Philips	1,69%	14,06*	1,52%	8,43*
Exxon	1,83%	19,77*	1,16%	0,82
General Electric	1,35%	3,96	1,30%	2,88
Johnson & Johnson	1,80%	18,57*	1,86%	21,17*
JP Morgan	1,57%	10,10*	1,41%	5,33
Mc Donalds	1,43%	5,96	1,35%	4,02

Microsoft	1,69%	14,06*	1,27%	2,38
Procter& Gamble	1,72%	15,14*	1,13%	0,56
Walt Disney Co.	1,46%	6,71*	1,13%	0,56
Wal-Mart	1,55%	9,19*	1,58%	10,20*
Wells Fargo	1,57%	10,10*	0,70%	3,48
<i>*Se rechaza la hipótesis nula</i>				

### 3.5.3 VaR EWMA para la cartera

El VaR EWMA para la cartera compuesta por los 20 títulos se calcula al nivel de confianza de 99% para el periodo 2000-2014. Se sigue el procedimiento expuesto en el apartado 3.3. En la Tabla 3.7 se muestran los resultados del test de contraste. Los excesos totales superan el 1% esperado para ambos horizontes temporales y se rechaza la hipótesis nula del test de Kupiec.

Tabla 3.7 Contraste VaR EWMA cartera 99%

Datos	3.556	3.548
Nivel de confianza	99%	
Horizonte (días)	1	10
Excesos totales	1,88%	2%
RV	22,3	27,88

En los Gráficos 3.6 y 3.7 se muestra el VaR diario y a 10 días calculado con frecuencia diaria para la cartera y las variaciones correspondientes del valor de la cartera.

Gráfico 3.6 VaR EWMA al 99% 1 día y variaciones a 1 día de la cartera

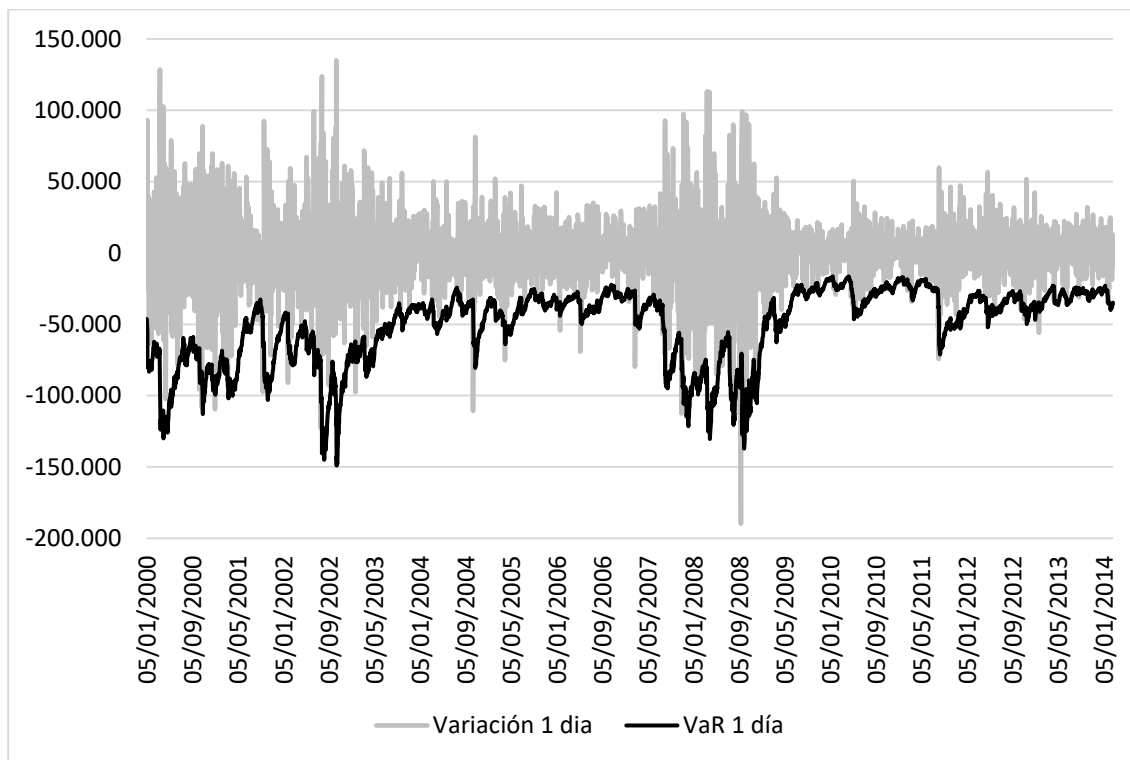
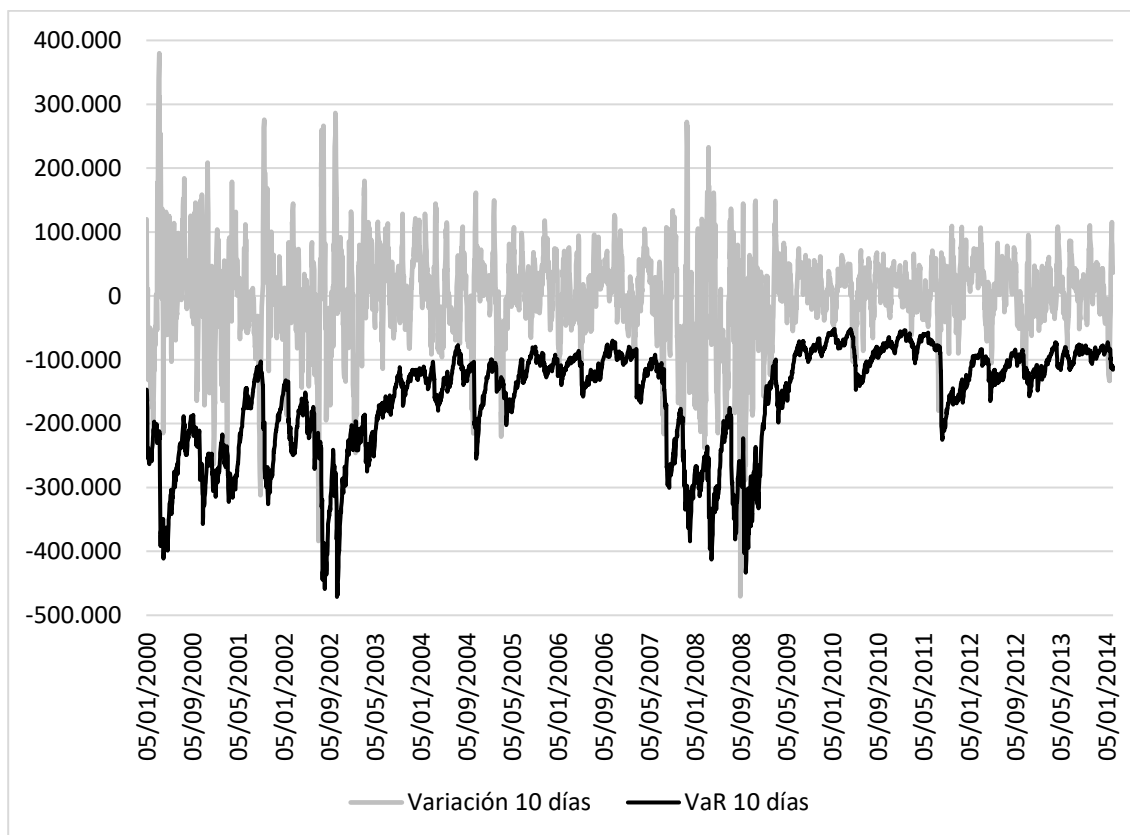


Gráfico 3.7 VaR al 99% 10 días y variaciones a 10 días de la cartera



### **3.5.4 Capital regulatorio para la cartera en base a los modelos VaR EWMA**

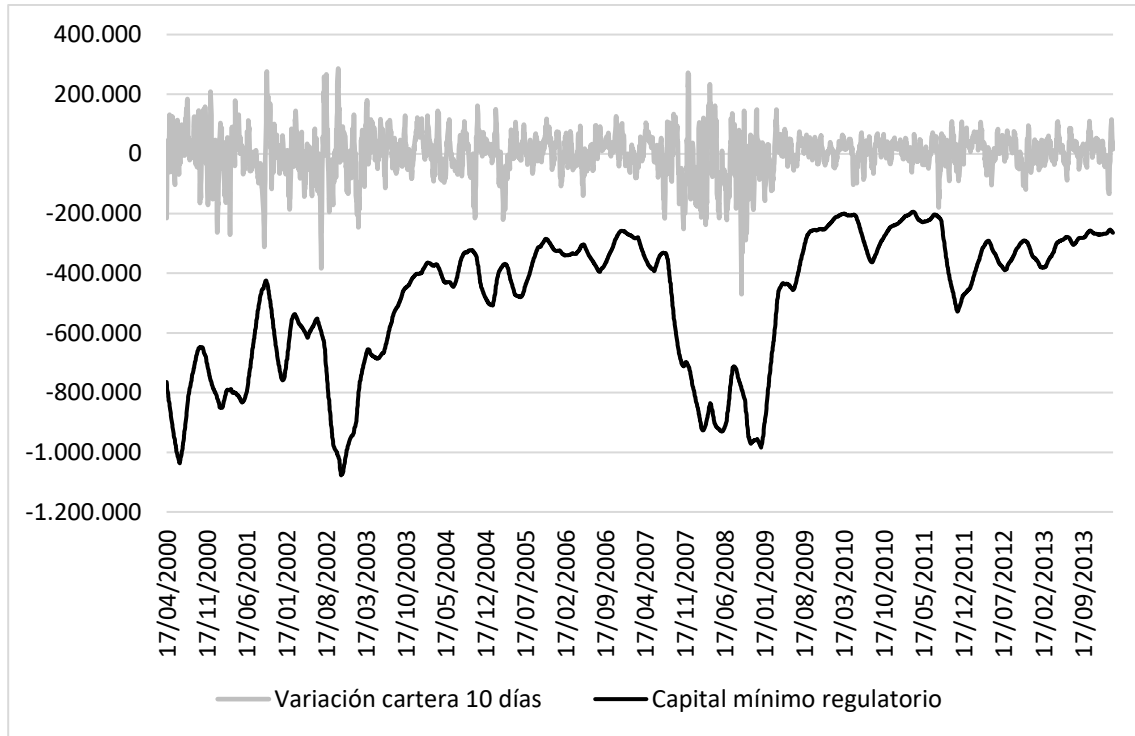
Como se ha expuesto en el Capítulo 2, Basilea II (CBSB 2006c) establece en el párrafo 718Lxxvi, punto (i), que el capital mínimo se debe calcular para un horizonte de 10 días a partir de los VaR calculados con un nivel de confianza del 99% y horizonte 10 días, según el valor más alto entre el valor en riesgo calculado el día anterior y el promedio del valor en riesgo diario durante los 60 días hábiles anteriores, al que se aplicará un factor de multiplicación sujeto a un mínimo de 3.

Los cálculos se realizan en este capítulo empleando el factor mínimo, aunque en base a los resultados que se obtendrían con la metodología de contraste de Basilea, se hubiera podido aplicar un factor más alto en la mayoría de los casos. Se ha elegido emplear el mismo factor a lo largo del periodo y se ha utilizado el valor mínimo por temas de homogeneidad y también porque se ha visto que la multiplicación con dicho factor produce requerimientos de capital que cubren las pérdidas en todo el periodo, como se mostrará en este capítulo.

Según se ha visto en los apartados 3.5.1 y 3.5.2, en el periodo 2000-2014 la mayor parte de los modelos VaR EWMA individuales al 99% tienen un peor comportamiento que los modelos al 95% y, en general, subestiman el riesgo (se rechaza la hipótesis nula de que la probabilidad con la que se ha construido el modelo es igual a la probabilidad con la que ocurren los excesos; para no rechazar, se requeriría una probabilidad más alta).

Al calcular el nivel de capital regulatorio a partir del VaR al 99% y 10 días, los resultados obtenidos son muy satisfactorios, tanto para cada activo por separado como para toda la cartera. El Gráfico 3.8 muestra la variación a 10 días del valor diario de la cartera y el nivel del capital regulatorio que cubre en todo momento las pérdidas registradas en el periodo 2000-2014. Los resultados para los modelos individuales se muestran en el Anexo 5. El capital regulatorio se muestra con signo negativo para ponerlo en relación con las variaciones negativas que reflejan las pérdidas de una posición larga en los instrumentos de capital.

Gráfico 3.8 Capital mínimo regulatorio para la cartera en base al VaR EWMA 99% horizonte 10 días 2000-2014



### 3.6 Modelos GARCH: metodología y resultados

Los modelos GARCH son un método alternativo al modelo EWMA para estimar la volatilidad de la rentabilidad. En este caso, la rentabilidad se modeliza como la suma de una constante y una variable aleatoria normal de media cero y varianza  $\sigma_t^2$ :

$$R_t = \mu + \varepsilon_t$$

La distribución de probabilidad de  $\varepsilon_t$  se considera condicional respecto a un conjunto de información relevante, llamado  $\Phi_{t-1}$ , formada por los choques aleatorios de las fechas anteriores hasta el último retardo (o el primer dato de la muestra). De forma sintética, lo anterior se puede escribir:

$$\varepsilon_{t/\Phi_{t-1}} \sim N(0, \sigma_t^2)$$

La ecuación para la varianza condicional de la perturbación  $\varepsilon_t$  depende de una constante y del choque aleatorio y el valor de la varianza condicional en la fecha anterior:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Para calcular la volatilidad según la metodología EWMA utilizada en RiskMetrics se emplean las mismas ponderaciones para las rentabilidades en las fechas pasadas de todas las categorías de activos de la cartera, con  $\lambda$  siempre igual a 0,94. Los modelos GARCH estiman los parámetros  $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\beta}$  para cada activo individual por lo que en total se estiman 20 modelos GARCH(1,1), uno para las acciones de cada empresa del estudio. Para realizar las estimaciones se utilizan los datos de los primeros 6 años de la muestra completa, del 03/01/2000 al 29/12/2006, en total 1.758 observaciones diarias. En base a los coeficientes estimados se realiza el cálculo numérico de la volatilidad condicional de cada título<sup>39</sup>.

Las volatilidades condicionales diarias de las rentabilidades de los activos de cada empresa se calculan como:

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 (\hat{\varepsilon}_{t-1} - \hat{\mu})^2 + \hat{\beta} \hat{\sigma}_{t-1}^2}$$

En los modelos reestimados sin el término constante, la varianza es igual a:

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \hat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \hat{\beta} \hat{\sigma}_{t-1}^2}$$

Estos resultados se incorporan en el cálculo del VaR individual y el VaR de la cartera, a los que se hará referencia como VaR GARCH. Los resultados obtenidos con los modelos VaR GARCH se muestran por separado para el periodo comprendido dentro de la muestra utilizada para la estimación y para el periodo que abarca los siete años posteriores, con fecha de inicio 03/01/2007 hasta 25/02/2014.

El VaR de la cartera se calcula según el mismo procedimiento expuesto en el apartado 3.5.4, a partir de los VaR GARCH. Para el cálculo de las covarianzas y coeficientes de correlación necesarios para obtener el VaR de la cartera se utiliza el método expuesto en el apartado 3.5, por lo que las covarianzas coincidirán con las utilizadas para el cálculo de los modelos VaR

---

<sup>39</sup> Los resultados de las estimaciones se muestran en el Anexo 6. Se han aplicado los test habituales para el análisis de los residuos.

EWMA y los coeficientes de correlación incorporarán las raíces cuadradas de las nuevas varianzas calculadas con los coeficientes estimados por los modelos GARCH.

En los Gráficos de 3.9 a 3.12 se muestran los porcentajes de excesos registrados por los modelos individuales al 99%, a 1 y 10 días, dentro y fuera de la muestra. El porcentaje es muy próximo al esperado en la mayoría de los modelos y en general el número de excesos es menor que en el caso de los modelos VaR EWMA.

Gráfico 3.9 Excesos VaR GARCH individuales 99% 1 día. 2000-2006

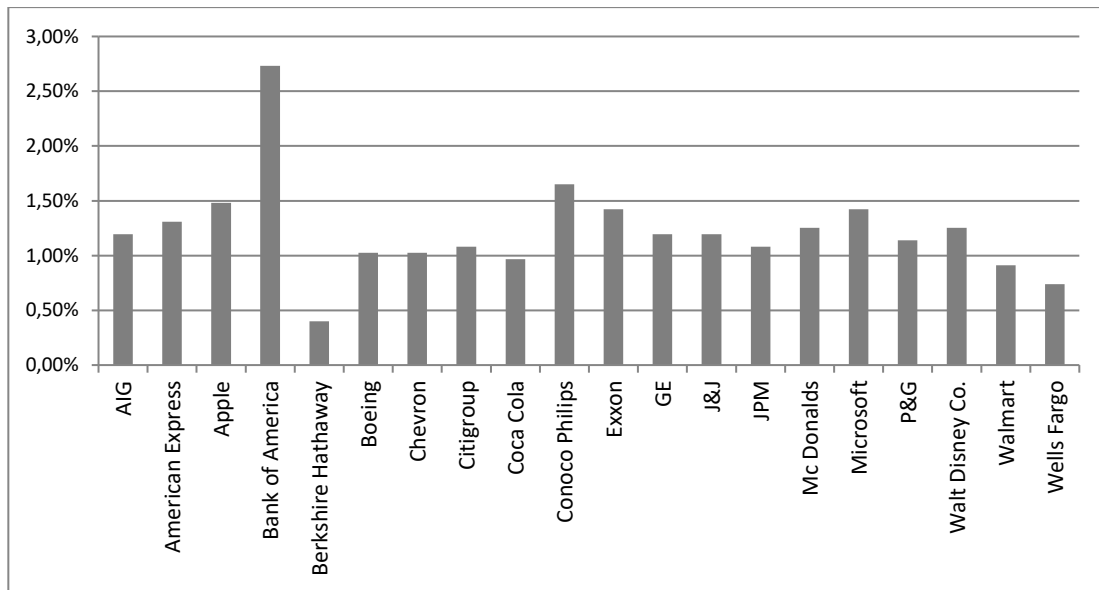


Gráfico 3.10 Excesos VaR GARCH individuales 99% 10 días. 2000-2006

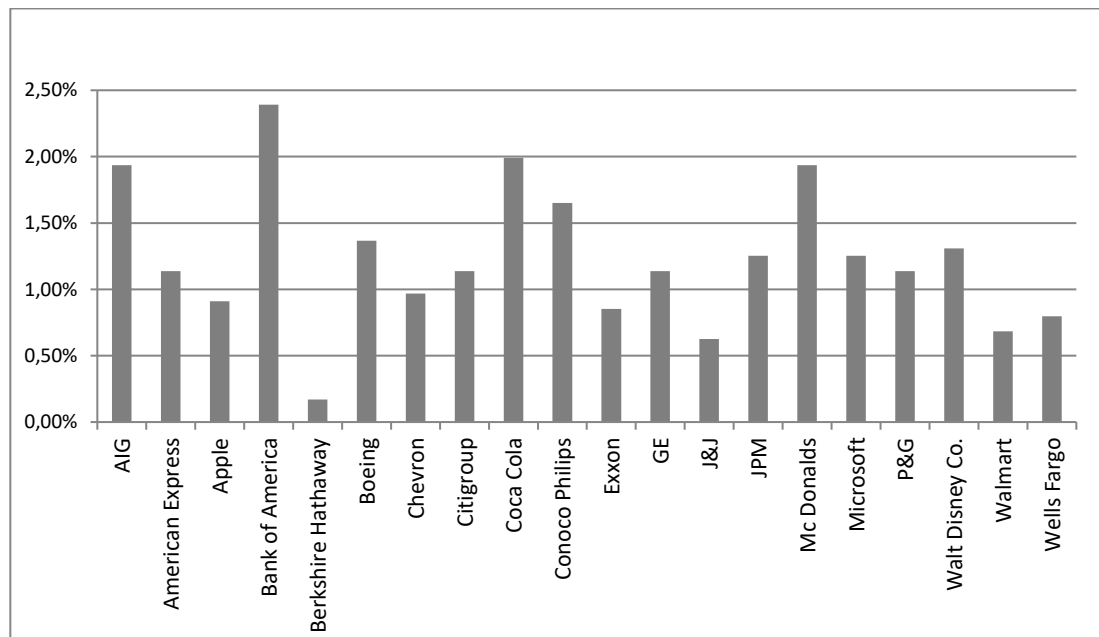




Gráfico 3.11 Excesos VaR GARCH individuales 99% 1 día. 2007-2014

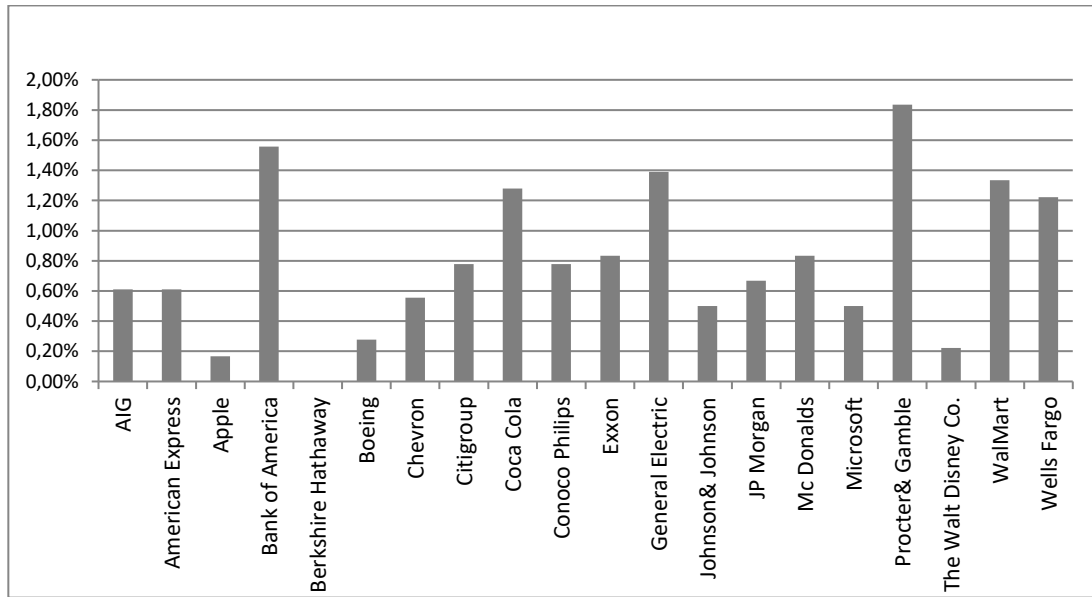
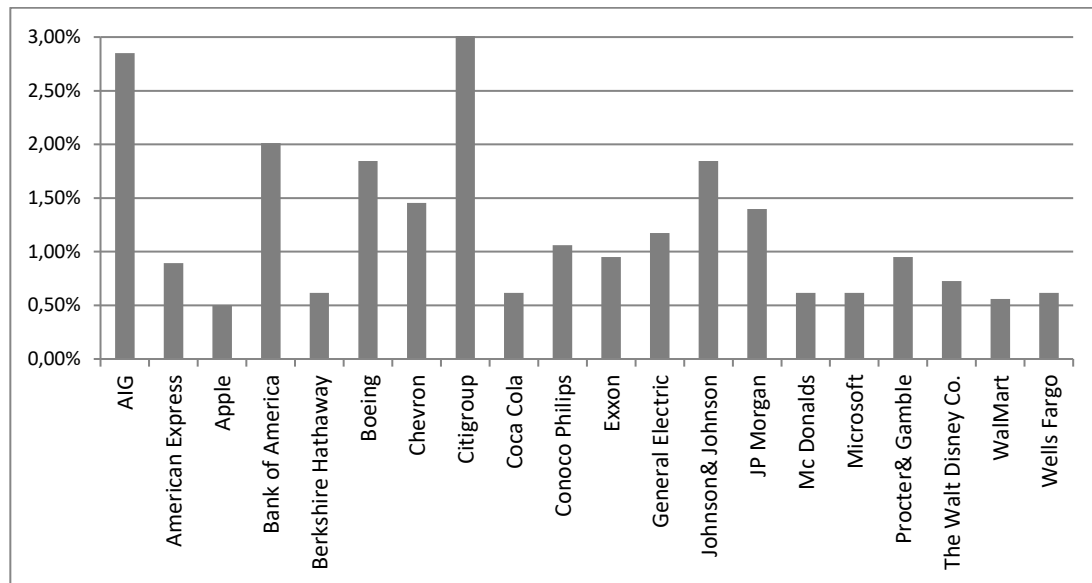


Gráfico 3.12. Excesos VaR GARCH individuales 99% 10 días. 2007-2014



### 3.6.1 VaR GARCH individuales al 99%

Según los resultados del contraste para el periodo 2000-2006 (Tabla 3.8), dos de los 20 modelos VaR GARCH calculados al 99% y horizonte diario registran un número de excesos alejado del porcentaje esperado. Es el caso de Bank of America, con un porcentaje de excesos superior al 1% esperado y Berkshire Hathaway, con un porcentaje inferior al 1%.

El contraste dentro de la muestra de los modelos calculados con horizonte 10 días permite rechazar la nula en el caso de 4 modelos dentro de la muestra: AIG, Coca Cola y Mc Donald's por superar el porcentaje de excesos esperados y Berkshire Hathaway por déficit de excesos.

Tabla 3.8 Contraste VaR GARCH 2000-2006

Nivel de confianza	1 día		10 días	
	Excesos	RV	Excesos	RV
AIG	1,20%	0,64	1,94%	12,19*
American Express	1,31%	1,54	1,14%	0,32
Apple	1,48%	3,56	0,91%	0,15
Bank of America	2,73%	36,16*	2,39%	24,69*
Berkshire Hathaway	0,40%	8,32*	0,17%	18,66*
Boeing	1,02%	0,01	1,37%	2,13
Chevron	1,02%	0,01	0,97%	0,02
Citigroup	1,08%	0,11	1,14%	0,32
Coca Cola	0,97%	0,02	1,99%	13,56*
Conoco Philips	1,65%	6,28	1,65%	6,28
Exxon	1,42%	2,81	0,85%	0,40
General Electric	1,20%	0,64	1,14%	0,32
Johnson& Johnson	1,20%	0,64	0,63%	2,86
JP Morgan	1,08%	0,11	1,25%	1,04
McDonald's	1,25%	1,04	1,94%	12,19*
Microsoft	1,42%	2,81	1,25%	1,04
Procter& Gamble	1,14%	0,32	1,14%	0,32
Walt Disney Co.	1,25%	1,04	1,31%	1,54
Wal-Mart	0,91%	0,15	0,68%	2,01
Wells Fargo	0,74%	1,32	0,80%	0,79
<i>*Se rechaza la hipótesis nula</i>				

En la Tabla 3.9 se presentan los resultados de los test de contraste para el periodo 2007-2014. De los modelos calculados al 99% y horizonte diario, con datos fuera de la muestra de estimación, son 15 los que registran un número de excesos que permiten no rechazar la hipótesis nula. De los 5 modelos restantes, solo en el caso de Procter& Gamble se rechaza la hipótesis nula por mayor número de excesos. En los modelos de Apple, Berkshire Hathaway, Boeing y Disney el rechazo de la nula se debe a que se registra un número de excesos menor que el esperado.

A 10 días, el contraste fuera de la muestra proporciona resultados similares a los del periodo 2000-2006: 15 modelos registran un número de excesos que permite no rechazar la hipótesis nula.

Tabla 3.9 Contraste VaR GARCH 2007-2014

Nivel de confianza	1 día		10 días	
	Excesos	RV	Excesos	RV
99%				
AIG	0,61%	3,19	2,85%	41,26*
American Express	0,61%	3,19	0,89%	0,21
Apple	0,17%	19,36*	0,50%	5,46
Bank of America	1,56%	4,81	2,01%	14,31*
Berkshire Hathaway	0,00%	36,16*	0,61%	3,11
Boeing	0,28%	13,27*	1,84%	10,32*
Chevron	0,56%	4,27	1,45%	3,26
Citigroup	0,78%	0,97	3,02%	47,83*
Coca Cola	1,28%	1,30	0,61%	3,11
Conoco Philips	0,78%	0,97	1,06%	0,07
Exxon	0,83%	0,53	0,95%	0,05
General Electric	1,39%	2,46	1,17%	0,52
Johnson& Johnson	0,50%	5,56	1,84%	10,32*
JP Morgan	0,67%	2,28	1,40%	2,54
McDonald's	0,83%	0,53	0,61%	3,11
Microsoft	0,50%	5,56	0,61%	3,11
Procter& Gamble	1,83%	10,15*	0,95%	0,05
Walt Disney Co.	0,22%	16,06*	0,73%	1,49
Wal-Mart	1,33%	1,84	0,56%	4,18
Wells Fargo	1,22%	0,84	0,61%	3,11
*Se rechaza la hipótesis nula				

En los modelos VaR EWMA al 99% y 1 día sólo 5 modelos pasan el test de contraste y los rechazos de la nula se debían a que el número de excesos registrados superaba el esperado. Para el mismo nivel de confianza y horizonte 10 días, 12 de los modelos VaR RM superan el test (Tabla 3.6). Se puede concluir que hay un mejor comportamiento a 1 día que a 10 días en los modelos con volatilidades GARCH porque aunque en cada caso son 15 los modelos que superan el test, de los 5 rechazos a 1 día, solo uno es por registrar un número demasiado elevado de excesos (el caso mencionado anteriormente de P&G). A 10 días, los 5 modelos que no pasan el test registran un número de excesos que supera el nivel esperado.

### 3.6.2 VaR GARCH de la cartera

El VaR GARCH de la cartera se calcula al 99% dentro y fuera de la muestra. Dentro de la muestra el comportamiento es distinto a 1 y 10 días: a 1 día el porcentaje de excesos es muy próximo al esperado y no se rechaza que la probabilidad con la que se ha construido las pérdidas coincide con la que se ha construido el modelo. A 10 días, el porcentaje es superior y se rechaza la nula del test de contraste.

Fuera de la muestra los resultados son similares a 1 y 10 días El Var de la cartera al 99%. Los excesos están dentro de un rango aceptable, que permite no rechazar la hipótesis nula al nivel de significación de 2,5% tanto a 1 día, como a 10 días. A 1 día la frecuencia de excesos al 99% es de 1,56% y a 10 días 1,57% comparados con 1,88% y 2% respectivamente en el caso de VaR EWMA calculado para la cartera.

Tabla 3.10 VaR GARCH cartera 99% 2000-2006

Datos	1.757	1.757
Nivel de confianza	99%	
Horizonte	1	10
Excesos totales	1,20%	1,88%
RV	0,64	10,88

Tabla 3.11 VaR GARCH cartera 99% 2007-2014

Observaciones	1.799	1.789
Nivel de confianza	99%	
Horizonte (días)	1	10
Excesos totales	1,56%	1,57%
RV	4,81	4,92

En los Gráficos 3.13 y 3.14 se muestra el VaR GARCH diario y a 10 días calculado con frecuencia diaria para la cartera y las variaciones correspondientes del valor de la cartera en el periodo comprendido entre el inicio del año 2000 y el final del 2006.

En los Gráficos 3.15 y 3.16 se muestran el VaR GARCH y las variaciones de la cartera entre enero de 2007 y febrero de 2014.

Gráfico 3.13 VaR GARCH al 99% 1 día y variaciones a 1 día de la cartera 2000-2006

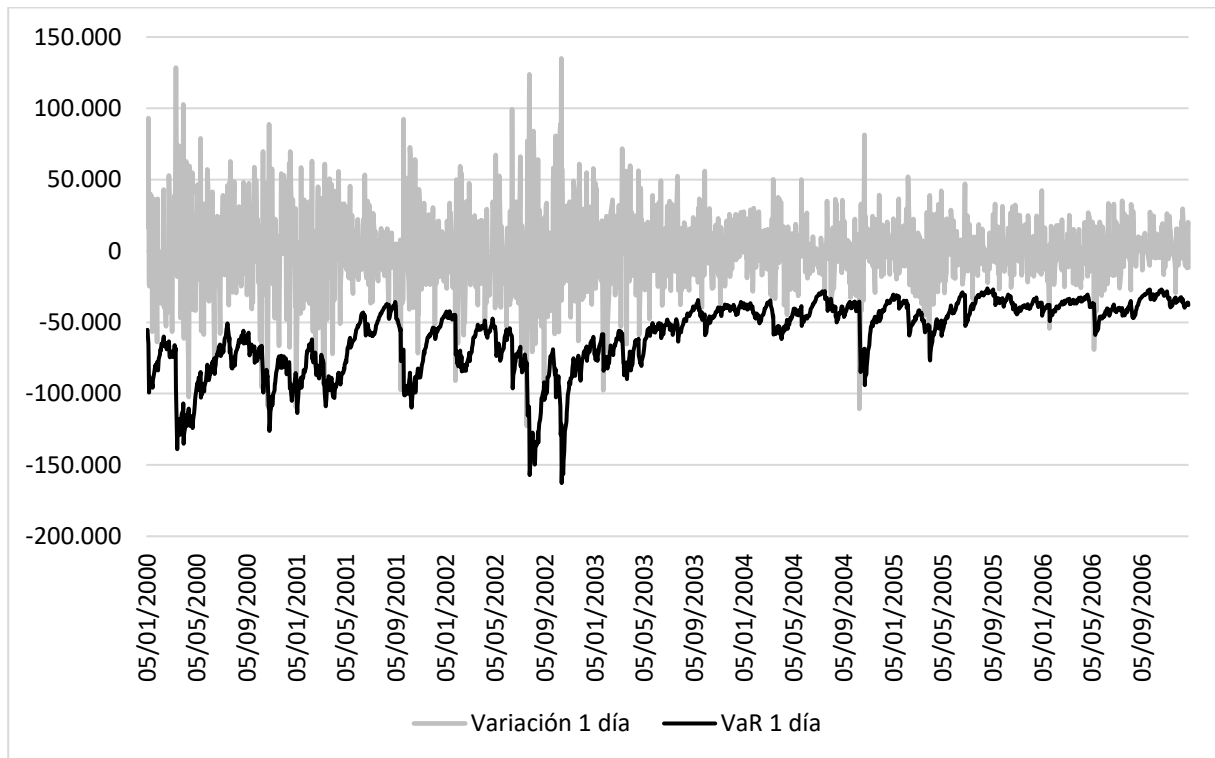


Gráfico 3.14 VaR GARCH al 99% 10 días y variaciones a 10 días de la cartera 2000-2006

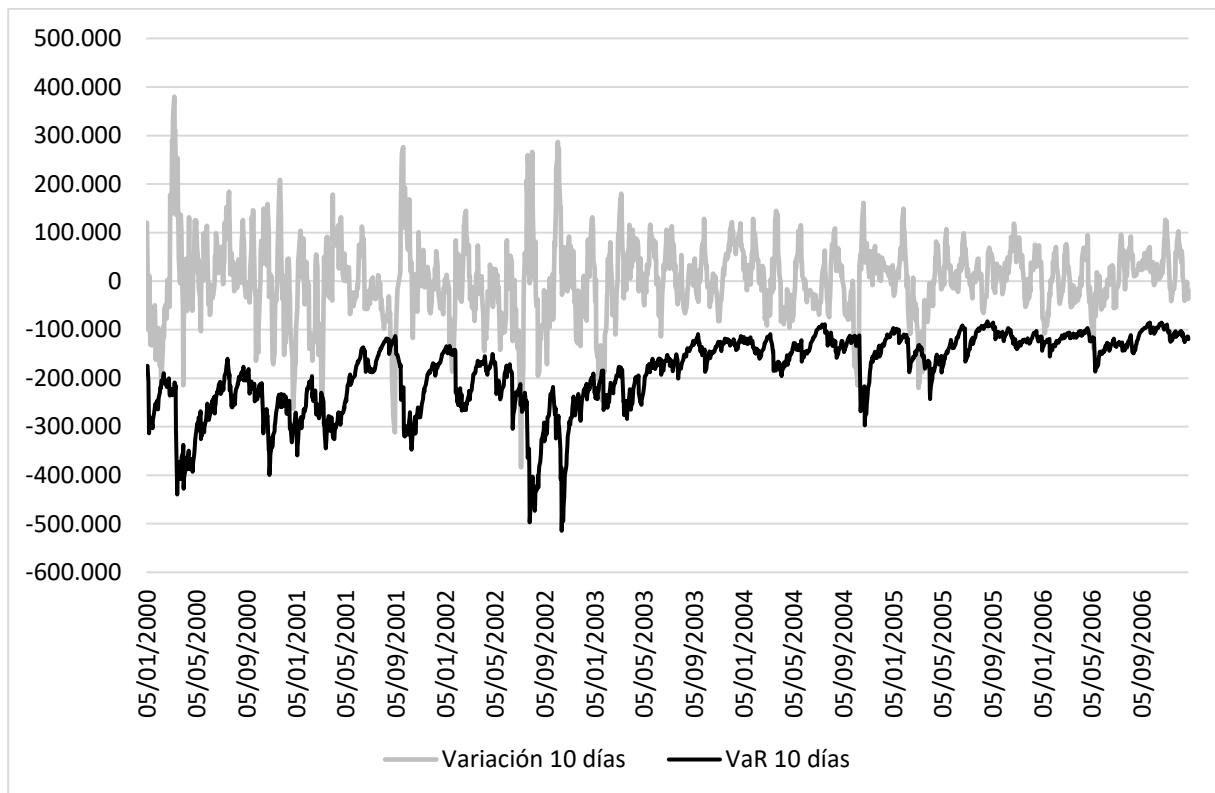


Gráfico 3.15 VaR GARCH al 99% 1 día y variaciones a 1 día de la cartera 2007-2014

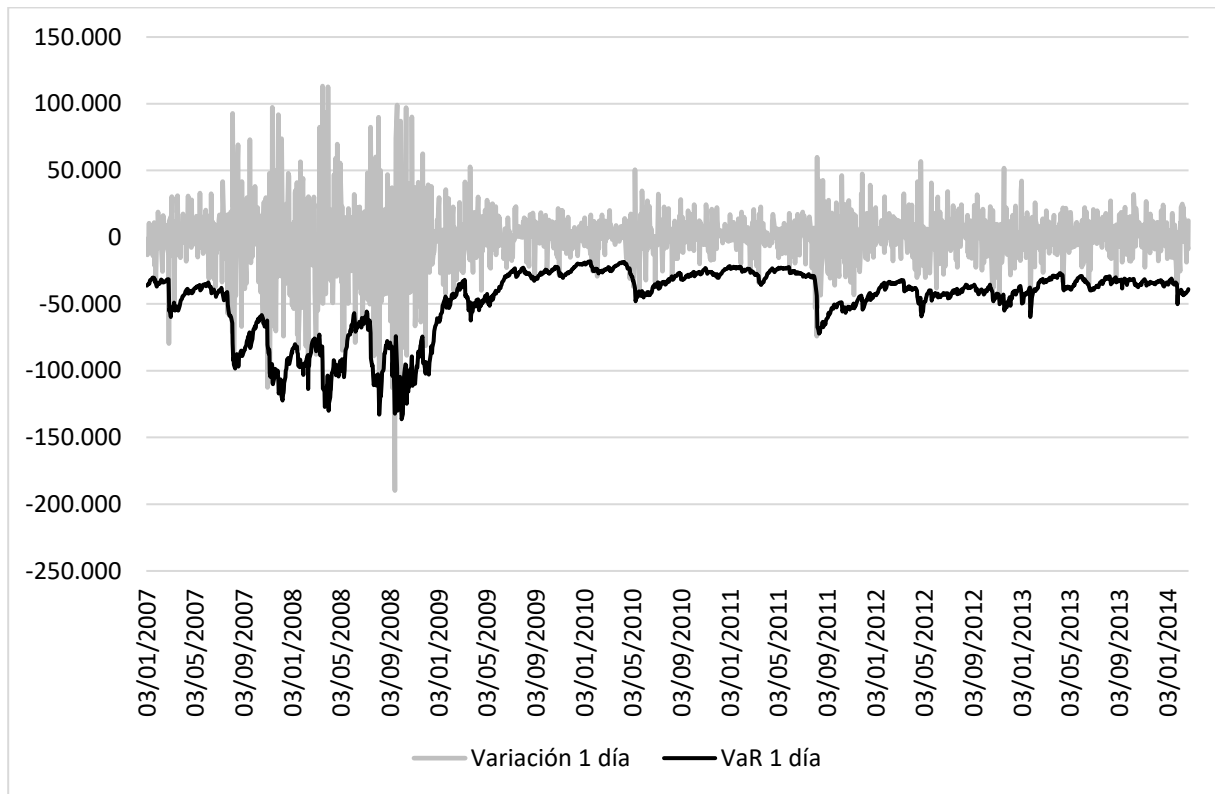
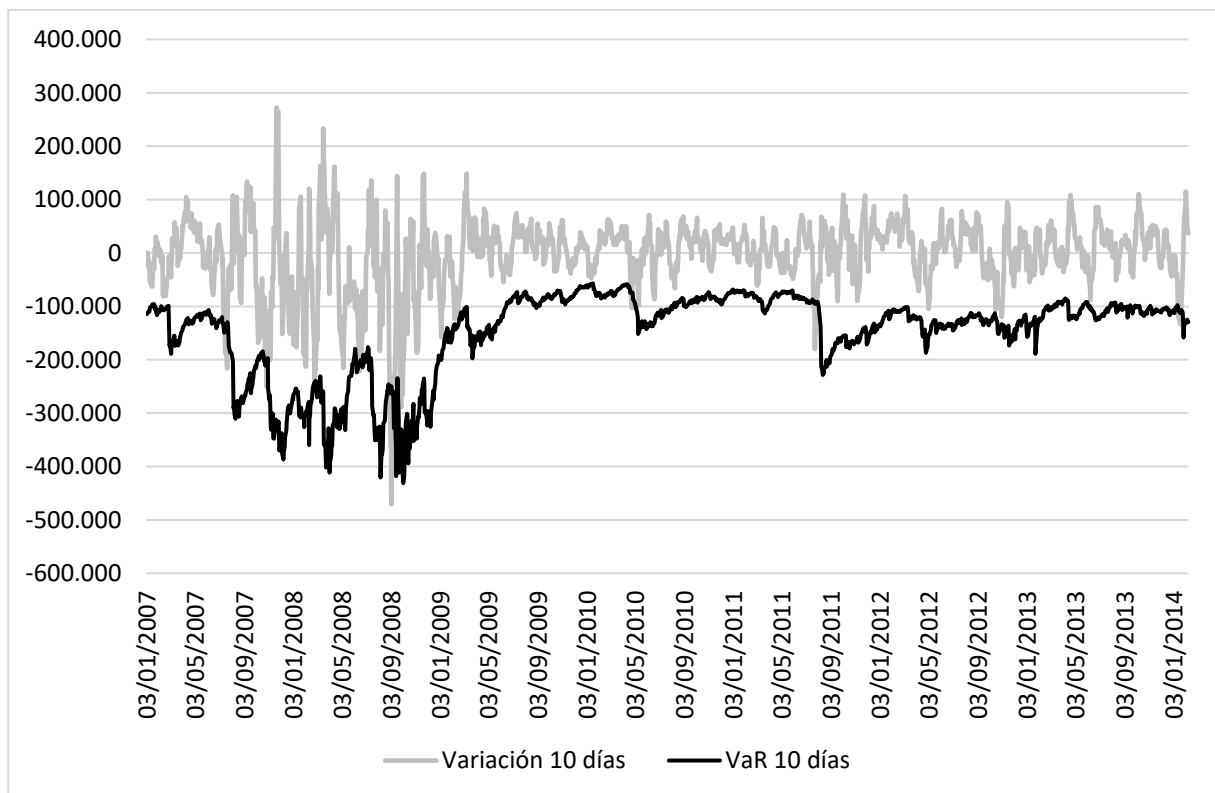


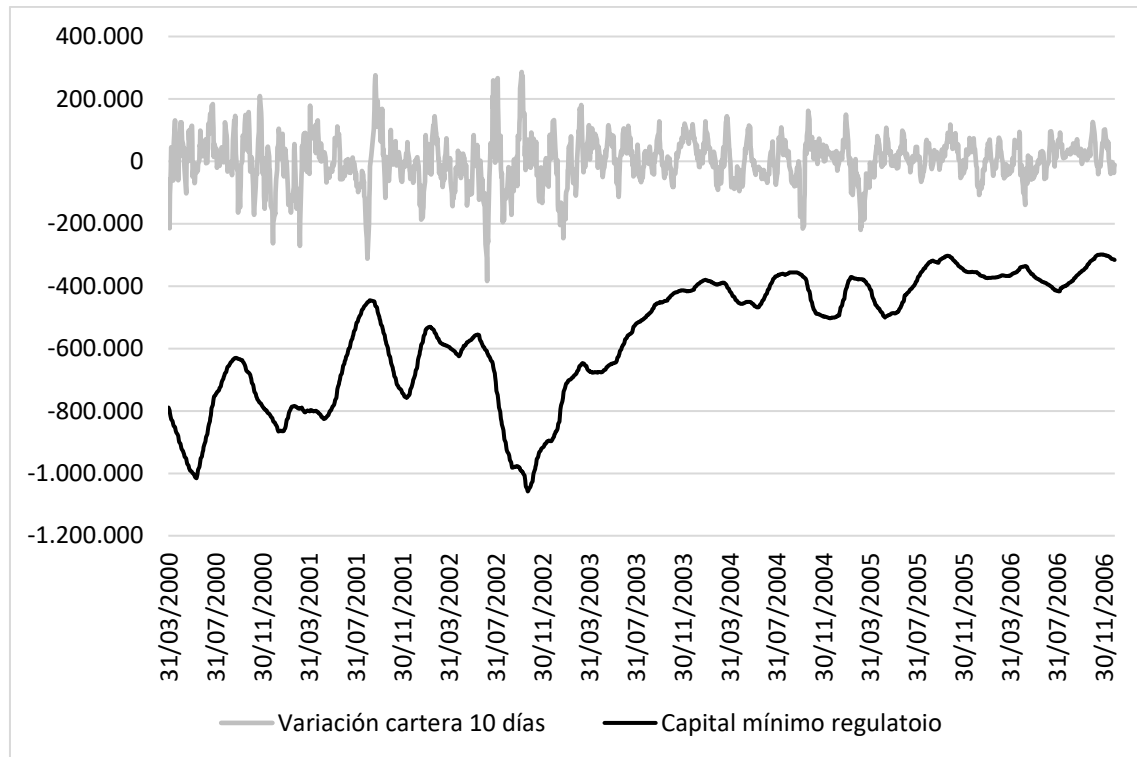
Gráfico 3.16 VaR GARCH al 99% 10 días y variaciones a 10 días de la cartera 2007-2014



### 3.6.3 Capital regulatorio para la cartera en base a los modelos VaR GARCH

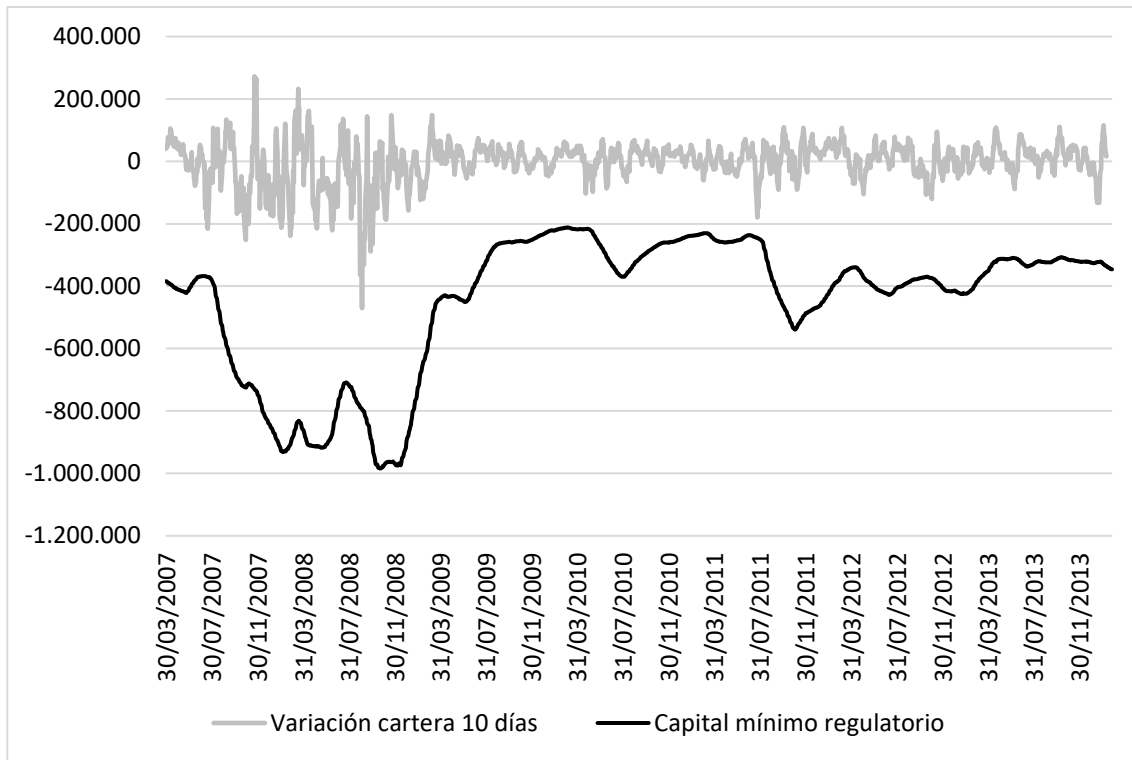
El capital regulatorio para la cartera se calcula en base al VaR GARCH de la cartera al 99% y 10 días (siguiendo el mismo procedimiento del apartado 3.5.4). Los Gráficos 3.18 y 3.19 muestran el capital mínimo regulatorio y la variación a 10 días de la cartera. Se observa que el capital regulatorio es siempre superior a las pérdidas registradas en el horizonte de 10 días, tanto en el caso de los modelos individuales como en el caso de la cartera<sup>40</sup>. El capital se muestra con signo negativo para ponerlo en relación con las variaciones negativas que reflejan las pérdidas de una posición larga en los instrumentos de capital.

Gráfico 3.17 Capital mínimo regulatorio para la cartera en base al VaR GARCH 99% horizonte 10 días 2000-2006



<sup>40</sup> Para los modelos individuales los resultados se presentan en los Anexos 7 y 8.

Gráfico 3.18 Capital mínimo regulatorio para la cartera en base al VaR GARCH 99% horizonte 10 días 2007-2014



### 3.7 Conclusiones

En el presente capítulo se ha calculado el VaR de 20 instrumentos de capital pertenecientes al índice Standard and Poor's 500 en el periodo 2000-2014. El VaR se ha calculado a nivel de cada título individual y a nivel de toda la cartera formada por los 20 títulos. Siguiendo las normas de Basilea II, se ha computado el capital mínimo regulatorio para cada título y para la cartera. El capital mínimo regulatorio calculado en base a los modelos VaR construidos con un nivel de confianza del 99% y un horizonte temporal de 10 días es superior a las pérdidas registradas en todo el periodo analizado.





# Capítulo 4. Modelos VaR para bonos

## 4.1 Introducción

Desde los años 80, los bancos han sido unos de los principales inversores en deuda pública, sobre todo la emitida por los gobiernos estadounidenses y otros países convencionalmente considerados desarrollados económicamente. Son también unos de los principales inversores en deuda emitida por las empresas, sobre todo la que recibe una alta calificación crediticia. Los títulos de deuda que cumplen con estas características pueden ser empleados como colateral en las operaciones con los bancos centrales, en operaciones REPO o adquiridos como inversión a largo plazo. Los bonos mantenidos por los bancos en las carteras de negociación se deben valorar diariamente a precios de mercado, cuyas variaciones pueden causar pérdidas o ganancias. El propósito del presente ejercicio es estimar las posibles pérdidas futuras, en base a los datos públicos sobre tipos de interés de la deuda pública y priva, utilizando un modelo de riesgo VaR y comparar dichas estimaciones con las pérdidas efectivas que registrarían los tenedores de títulos de deuda de las características que se expondrán en este capítulo.

El modelo VaR elegido es un modelo paramétrico, que se estima para una cartera de bonos públicos del Tesoro de Estados Unidos y una de bonos corporativos que reciben la máxima calificación crediticia, Aaa, emitida por la agencia Moody's. Las letras y los bonos del Tesoro estadounidense son unos de los instrumentos de deuda más negociados<sup>41</sup>; también lo son los bonos corporativos con alta calificación crediticia, aunque, en general, estos títulos tienen menor liquidez que la deuda pública.

El periodo analizado abarca datos diarios de tipos de interés de la deuda pública y privada durante 14 años, entre 03/01/2000 y 25/02/2014 (el mismo periodo empleado en el análisis de los modelos de riesgo para los instrumentos de capital del Capítulo 3). La extensión de la muestra permite reflejar el comportamiento de los modelos en distintas etapas de la dinámica económica de la década actual y pasada, incluyendo la gran crisis financiera del año

---

<sup>41</sup> El mercado de bonos es un mercado OTC y goza de menor liquidez que los mercados de acciones; son relativamente pocas las referencias que se negocian a diario y en grandes volúmenes.

2007 y también el periodo posterior, marcados por turbulencias significativas en los mercados.

## 4.2 Modelo VaR paramétrico para bonos

A continuación, se expone el modelo de riesgo de mercado para un bono genérico y se definen los parámetros utilizados. El modelo se expresa como:

$$\text{VaR}(\alpha)_{t+h} = \text{SPk}(\alpha) \sigma_{\Delta r_t} \sqrt{h}$$

$$\Delta r_t \sim N(0, \sigma_{\Delta r_t}^2)$$

$\text{VaR}(\alpha)_{t+h}$  es el valor en riesgo calculado en la fecha  $t$  para el horizonte  $h$

$\alpha$  es el nivel de significación, siendo por tanto  $1-\alpha$  el nivel de confianza

$P$  el precio diario del bono

$S$  es un parámetro denominado sensibilidad (definido a continuación)

$k(\alpha)$  es el percentil que corresponde al nivel de confianza elegido en una variable normal estándar

$\Delta r_t$  es la variación diaria del tipo de interés del bono, también denominado tasa interna de rentabilidad (TIR) que suponemos sigue una distribución normal condicional de media cero y varianza  $\sigma_{\Delta r_t}^2$ .

$\sigma_{\Delta r_t}$  es la desviación típica, o volatilidad, de  $\Delta r_t$  y es igual a la raíz cuadrada de la varianza condicional  $\sigma_{\Delta r_t}^2$ , calculada en cada fecha  $t$  para la fecha siguiente  $t+1$ .

Para llegar a la fórmula anterior, se parte de expresar el precio del bono para el que se estimará el modelo de riesgo en función de los flujos que reciben los inversores a lo largo de la vida del bono (habitualmente cupones, con una periodicidad establecida en la fecha de emisión, y nominal en el vencimiento) y del tipo de interés con el que se traen a valor actual dichos flujos futuros. En capitalización compuesta, el precio viene dado por la siguiente expresión:

$$P = \sum_{i=1}^n F_i (1+r)^{-t_i}$$

$F_i$  es el flujo de liquidez que se va a producir en la fecha  $t_i$  y  $r$  es el tipo de interés con el que se descuentan los flujos (la TIR).

La variación del precio ante una variación de los tipos de interés se obtiene derivando el precio con respecto a  $r$  :

$$\frac{dP}{dr} = -\sum_{i=1}^n t_i F_i (1+r)^{-t_i-1} = -\frac{1}{1+r} \sum_{i=1}^n t_i F_i (1+r)^{-t_i}$$

Se define la duración del bono,  $D$ , como el cociente entre el sumando de la expresión anterior y el precio del bono:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n t_i F_i (1+r)^{-t_i}}{P}$$

$$DP = \sum_{i=1}^n t_i F_i (1+r)^{-t_i}$$

La duración es una magnitud relevante en la medición del riesgo de mercado de los bonos<sup>42</sup>. El valor de este parámetro es función de los flujos que pagan los bonos a lo largo de su vida (cupones y nominal) actualizados con una determinada tasa interna de rentabilidad y los plazos a los que se realizan dichos pagos. La duración se puede entender como un promedio ponderado de los flujos futuros derivados de la tenencia del bono, donde los factores de ponderación son los plazos entre la fecha actual y la fecha de cobro de dichos flujos.

A modo de ejemplo, un bono con vencimiento en 10 años, precio igual a 100 y amortización a la par que pague cupones anuales del 4% y tuviera una TIR del 4% tendría una duración igual a 8,44 años<sup>43</sup>.

La interpretación financiera de la duración tiene que ver con la relación que existe entre la duración y la primera derivada del precio con respecto al tipo de interés. Sustituyendo en función de la duración en la fórmula de la derivada del precio con respecto al tipo de interés, se obtiene:

---

<sup>42</sup> Ver más detalles en Vilarinho (2001, 228-35)

<sup>43</sup> Ver Anexo 9 para el desarrollo de los cálculos.

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{1}{1+r} \sum_{i=1}^n t_i F_i (1+r)^{-t_i} = -\frac{1}{1+r} DP$$

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{DP}{1+r}$$

$$\frac{dP}{P} = -\frac{D}{1+r} dr$$

El primer miembro de la ecuación anterior es la variación relativa del precio del bono, que es igual al producto de dos factores: el primero es igual a duración dividida por 1 más la TIR y el segundo es el diferencial de la TIR. El primer factor se denomina sensibilidad o duración modificada. Pasando a la aproximación discreta:

$$\frac{\Delta P}{P} = -\frac{D}{1+r} \Delta r$$

$$\Delta P = -\frac{D}{1+r} P \Delta r$$

$$\Delta P = -SP \Delta r$$

La relación anterior muestra que un aumento de la TIR es equivalente a una disminución del precio (una pérdida para una posición larga), mientras que un descenso en la TIR se traduce en un aumento de los precios (una pérdida para una posición corta).

El modelo que se ha utilizado es un VaR paramétrico normal de manera que  $\Delta r_t \sim N(0, \sigma_{\Delta r_t}^2)$ , donde  $\Delta r_t$  denotan las primeras diferencias de los tipos de interés,  $r_t - r_{t-1}$ .

Calculando la varianza de la expresión anterior (se omiten los subíndices t para simplificar la notación), se tiene:

$$\sigma_{\Delta P}^2 = S^2 P^2 \sigma_{\Delta r}^2$$

El VaR al nivel de confianza  $1 - \alpha$  se define como el valor crítico  $\Delta P^*$  de las pérdidas  $\Delta P$ , que verifica la ecuación:

$$\text{Prob}(\Delta P \geq \Delta P^*) = \alpha$$

$$\Delta P = P_t - P_{t-1}$$

Las pérdidas pueden ser variaciones negativas de los precios, en el caso de una posición larga o variaciones positivas, para una posición corta.

Dividiendo  $\Delta P$  por su desviación típica obtenemos una distribución normal estándar

$$\frac{\Delta P}{\sigma_{\Delta P}} \sim N(0,1)$$

Una vez elegido  $\alpha$ , se puede obtener el valor crítico  $k(\alpha)$  que corresponde al nivel de confianza  $1 - \alpha$  en una variable normal estándar

$$\text{Prob}\left(\frac{\Delta P}{\sigma_{\Delta P}} \geq k(\alpha)\right) = \alpha$$

$$\text{Prob}(\Delta P \geq k(\alpha)\sigma_{\Delta P}) = \alpha$$

A partir de la expresión anterior, el VaR al nivel de confianza  $1 - \alpha$  y horizonte diario se define como:

$$\Delta P^* = \text{VaR}(\alpha) = k(\alpha)\sigma_{\Delta P}$$

$\sigma_{\Delta P}$  es la raíz cuadrada de la varianza de  $\sigma_{\Delta P}^2$  calculada anteriormente en base al precio del bono, su sensibilidad y la varianza del tipo de interés.

El VaR diario del bono es:

$$\text{VaR}(\alpha) = SPk(\alpha)\sigma_{\Delta r}$$

Para calcular el VaR a un horizonte  $h$  superior a 1 día, multiplicamos la expresión anterior<sup>44</sup> por la raíz de  $h$ .

$$\text{VaR}(\alpha)_{t+h} = SPk(\alpha)\sigma_{\Delta r}\sqrt{h}$$

Para una cartera en la que hubiese un número  $N$  de bonos el VaR se obtiene multiplicando la expresión anterior por este número por:

$$\text{VaR}(\alpha)_{t+h} = SNPk(\alpha)\sigma_{\Delta r}\sqrt{h}$$

Los horizontes a los que se calculan los modelos VaR son 1 día y 10 días y los niveles de confianza son 95% y 99%.

---

<sup>44</sup> Considerando que las variaciones diarias de los tipos de interés de  $t$  a  $t+h$  son realizaciones de variables aleatorias independientes (Véase el Anexo 3 para más detalles).

La estimación de las volatilidades de las series modelizadas se realiza, como en el caso de los instrumentos de capital, con un modelo EWMA y un modelo GARCH(1,1).

### 4.3 Cálculo de la variación de la cartera en función del tipo de interés y la duración

A efectos de analizar el comportamiento de los modelos de riesgo, interesa comparar la variación de los precios de los bonos de una fecha a otra con las pérdidas máximas estimadas con los modelos. Partiendo de los tipos de interés de la deuda pública a 10 años del Tesoro y los tipos a 5 años de la deuda corporativa calificada Aaa por Moody's calcularemos las variaciones de los precios de dichos bonos utilizando la relación expuesta anteriormente entre la variación del precio, la sensibilidad y la variación de la TIR. Dado un valor diario de la cartera,  $NP$ , y una sensibilidad,  $S$ , la variación del valor de la cartera será:

$$N\Delta P = -SNP\Delta r$$

$$N(P_{t+h} - P_t) = -SNP(r_{t+h} - r_t)$$

Dado que la sensibilidad se expresa en función de la duración, consideramos una duración,  $D$ , para calcular la sensibilidad cada día:

$$S_t = -\frac{D}{1+r_t}$$

Para identificar los excesos ocurridos en el periodo analizado, definidos como los momentos en los que las pérdidas reales son superiores a las pérdidas estimadas con los modelos, se debe comparar el VaR calculado a un determinado horizonte con la variación del precio de los bonos a dichos horizontes.

Las variaciones a 1 y 10 días, que representan los horizontes temporales utilizados en este trabajo, se calculan como:

$$\Delta P = P_{t+1} - P_t = -S_t P_t (r_{t+1} - r_t)$$

$$\Delta P = P_{t+10} - P_t = -S_t P_t (r_{t+10} - r_t)$$

Considerando el nivel de confianza  $1 - \alpha$ , los excesos se calculan como:

$$N\Delta P - \text{VaR}(\alpha) = SNP(\Delta r - k(\alpha)\hat{\sigma}_{\Delta r})$$

Donde  $\Delta P$ ,  $\text{VaR}(\alpha)$ ,  $\Delta r$  se calculan para el mismo horizonte temporal.

Se observa que el término **SP** modifica el orden de magnitud de los excesos, pero no influye en la ocurrencia del mismo. Por tanto, a efectos de calcular la variación del precio, se empleará un precio diario y una duración constantes y la variación de los tipos de interés de los bonos públicos y corporativos publicados por el Tesoro de EEUU:

- Los datos utilizados para la cartera de bonos del Tesoro de EEUU proceden de la información sobre tipos de interés de la deuda pública a 10 años publicada por el Tesoro estadounidense<sup>45</sup>. Las variaciones de los precios diarios se calculan suponiendo una duración igual a 8 años y un valor diario de la cartera igual a 100.000.000 de dólares estadounidenses (USD).
- Los tipos de interés utilizados son tipos promedio de bonos corporativos a 5 años que reciben la calificación Aaa por la Moody's, el grado máximo de calificación crediticia en la escala de esta agencia. En este caso se considera una duración constante de 4 años y un precio diario igual a 100.000.000 USD.

En los Anexos 10 y 11 se muestran las variaciones diarias y a 10 días calculadas según el procedimiento descrito en el presente apartado, para el primer mes de la muestra y para los bonos del Tesoro y los corporativos respectivamente. La evolución de los tipos de interés en el periodo 2000 – 2014 se presentan en el Anexo 12.

#### **4.4 Modelos VaR con volatilidad condicional estimada con un modelo EWMA**

A continuación, se llama  $\Delta r_t$  a las primeras diferencias de los tipos de interés o tasas internas de rentabilidad (TIR) de los bonos. La distribución de probabilidad de  $\Delta r_t$  se considera condicional respecto a un conjunto de información relevante, llamado  $\Phi_{t-1}$ , formada por los choques aleatorios de las fechas anteriores hasta el último retardo (o el primer dato de la muestra). De forma sintética, lo anterior se puede escribir:

$$\Delta r_{t/\Phi_{t-1}} \sim N(0, \sigma_{\Delta r_t}^2)$$

---

<sup>45</sup> Los tipos de interés a 10 años corresponden a un tipo de interés (TIR) promedio de todas las referencias con un plazo residual de 10 años, independientemente de su fecha de emisión.



El VaR para una cartera de  $N$  bonos de precio  $P$ , a un horizonte de confianza  $1-\alpha$  y horizonte  $h$  se ha definido como:

$$\text{VaR}(\alpha)_{t+h} = \text{SNPk}(\alpha) \sigma_{\Delta r_t} \sqrt{h}$$

$\sigma_{\Delta r_t}$  es la raíz cuadrada de la varianza condicional calculada en cada fecha para la fecha siguiente:

$$\sigma_{\Delta r_t}^2 = (1-\lambda) \Delta r_t^2 + \lambda \sigma_{\Delta r_{t-1}}^2$$

Utilizando el valor 0,94 para el parámetro lambda<sup>46</sup>, la varianza calculada con datos diarios es igual a:

$$\sigma_{\Delta r_t}^2 = 0,06 \times \Delta r_t^2 + 0,94 \times \sigma_{\Delta r_{t-1}}^2$$

$\Delta r_t$  es la primera diferencia de los tipos de interés de los bonos del Tesoro cuando se calcula el VaR de estos títulos y la primera diferencia de los tipos de interés de los bonos corporativos calificados como Aaa en los modelos de riesgo de éstos últimos<sup>47</sup>.

$NP$  tiene el valor de 100 millones USD en el caso de ambos bonos.

A continuación, denominamos VaR EWMA a los modelos VaR para los que la volatilidad condicional se ha calculado por el método anterior.

#### 4.4.1 VaR EWMA de los bonos del tesoro

Analizamos la precisión de los modelos estimados utilizando la frecuencia de los excesos ocurridos a lo largo del periodo 2000-2014, medida por el número total de días en los que las pérdidas son superiores al VaR dividido por el número total de observaciones. Se cuenta con 3691 observaciones diarias entre el 04/01/2000 y el 25/02/2014 y 3682 observaciones a 10 días entre el 17/01/2000 y 25/02/2014. Los resultados se muestran en dos sub-periodos, 2000-2006 y 2007-2014 y también para el conjunto del periodo 2000-2014; por una parte, para facilitar la comparación con los modelos VaR GARCH, pero también porque el análisis de cada sub-periodo permite reflejar el grado de variabilidad de los resultados en función de

---

<sup>46</sup> Véase el Capítulo 3, apartado 3.5 para más detalles

<sup>47</sup> En el Anexo 13 se muestran los gráficos y principales estadísticos de las series modelizadas. El Anexo 15 muestra los gráficos de las volatilidades estimadas con el modelo EWMA y GARCH. En el Anexo 26 se muestran conjuntamente las volatilidades GARCH y EWMA para cada cartera de bonos.

la elección de la muestra para los contrastes. En los modelos estimados con datos diarios, entre 2000 y 2006 se cuenta con 1824 observaciones y en los modelos estimados para un horizonte de 10 días, el número de observaciones es de 1815. Entre 2000-2007 hay 1867 observaciones diarias y 1857 observaciones a 10 días.

De esta manera, contaremos con 4 modelos para cada sub-periodo, correspondientes a dos niveles de confianza, 95% y 99%, y dos horizontes temporales para cada nivel de confianza, 1 y 10 días. En los modelos al 95% se esperan alrededor de un 5% de excesos (o 5 excesos cada 100 días) y en los modelos al 99%, alrededor de un 1%.

Los valores críticos de la razón de verosimilitud,  $RV \sim \chi_1^2$ , son:

Tabla 4.1 Valores críticos  $\chi_1^2$

$\alpha$	0,01	0,025	0,05
$k(\alpha)$	6,635	5,024	3,841

Los resultados del test de Kupiec se muestran a continuación, en las Tablas 4.2-4.5.

Las frecuencias de excesos en el periodo 2000-2006 (Tablas 4.2 y 4.3) son superiores a las frecuencias esperadas, con la excepción del modelo al 95% y 1 día, para el que los excesos están muy próximos al nivel esperado. Las pérdidas reales diarias registradas en la cartera de bonos del tesoro superan al VaR EWMA al 95% y 1 día en un 5,37% de los 1824 días entre enero de 2000 y diciembre de 2006.

Al 95% y 10 días la frecuencia de excesos es del 7,16% y al nivel de confianza del 99% las frecuencias duplican a las esperadas: a 1 día se registra un 2,03% de excesos y a 10 días un 2,26%. Entre 2000 y 2006 sólo el modelo al 95% y 1 día permite no rechazar la hipótesis nula del test de Kupiec, según la cual la probabilidad con la que ocurren pérdidas que superan al VaR es igual a la probabilidad con la que se ha construido el modelo. El valor de RV en este caso permite no rechazar la hipótesis nula, con una probabilidad del 5%.

Tabla 4.2 Contraste Kupiec VaR EWMA Tesoro 1 día 2000-2006

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	98	1824	37
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,37%	1%	2,03%
RV	0,522	RV	15,016

Tabla 4.3 Contraste Kupiec VaR EWMA Tesoro 10 días 2000-2006

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	130	1815	41
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	7,16%	1%	2,26%
RV	15,851	RV	21,414

Entre 2007 y 2014 (Tablas 4.4 y 4.5) se registra un menor número de excesos en términos absolutos y también las frecuencias relativas de los excesos se acercan más a las esperadas, sobre todo en los modelos al 95%. Los excesos son de un 5,41% para los VaR al 95% y 1 día y 5,44% al 95% y 10 días. Al 99% se registra un 1,61% a 1 día y 1,23% a 10 días.

Entre 2007-2014 la hipótesis nula no se rechaza para ninguno de los modelos. La RV del modelo al 99% y 1 día permite no rechazar al 1% (el valor de RV es inferior al nivel crítico del 1%). Para el resto de los modelos, no se rechaza con un 5% de probabilidad (los valores de RV son inferiores al valor crítico al 5%).

Tabla 4.4 Contraste Kupiec VaR EWMA Tesoro 1 día 2007-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1867	101	1867	30
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,41%	1%	1,61%
RV	0,644	RV	5,866

Tabla 4.5 Contraste Kupiec VaR EWMA Tesoro 10 días 2007-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	101	1857	23
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,44%	1%	1,23%
RV	0,733	RV	0,992

Las frecuencias de excesos en 2000-2014 (Tablas 4.6 y 4.7) están en un valor muy cercano al promedio de los resultados de los dos sub-periodos, debido a que el número de observaciones de los dos sub-periodos es muy similar. Las frecuencias al 95% son 5,39% a 1 día y 6,27% a 10 días. Al 99% son de 1,82% a 1 día y 1,74% a 10 días.

Para el conjunto del periodo 2000-2014, el único modelo para el que no se rechaza la hipótesis nula es el VaR calculado al 95% y un día. La probabilidad de no rechazo es el 5%.

Tabla 4.6 Contraste Kupiec VaR EWMA Tesoro 1 día 2000-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	199	3691	67
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,39%	1%	1,82%
RV	1,163	RV	19,961

Tabla 4.7 Contraste Kupiec VaR EWMA Tesoro 10 días 2000-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	231	3682	64
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	6,27%	1%	1,74%
RV	11,677	RV	16,607

La evolución diaria de los VaR a los dos horizontes y niveles de confianza se muestra a continuación en los Gráficos 4.1-4.4 para todo el periodo 2000 – 2014. Los valores de cada

fecha representan el VaR calculado 1 día o 10 días antes para la fecha actual. El horizonte se mide en días laborables.

A modo de ejemplo: el VaR a 1 día del día 03/07/2001 es el VaR que se ha calculado el día anterior, el 02/07/2001 y representa la pérdida máxima estimada al nivel de confianza elegido para el día 03/07/2001.

El VaR a 10 días del día 03/07/2001 es el VaR que se ha calculado diez días antes, el 19/06/2001 y representa la pérdida máxima estimada al nivel de confianza elegido para el día 03/07/2001.

La variación del precio es la variación diaria o a 10 días calculada según el método expuesto en el apartado 4.3.

Los siguientes gráficos permiten, por tanto, comparar el VaR calculado cada día con la pérdida real registrada el día en cuestión e identificar las fechas en las que se producen dichos excesos.

El VaR se muestra con signo negativo para reflejar los excesos con respecto a las variaciones negativas que reflejan las pérdidas de una posición larga en los títulos de deuda. Las pérdidas podrían ser realizadas, por venta de los títulos a un precio inferior al precio al que se adquirieron, o por valoración, debido a que todos los instrumentos de la cartera de negociación se deben valorar a su valor de mercado (o valor razonable en base a los modelos aceptados, en su caso). En ambos casos las pérdidas se deben reflejar en la cuenta de resultados del banco.

Gráfico 4.1 Variación precio 1 día y VaR EWMA 95% 1 día Tesoro

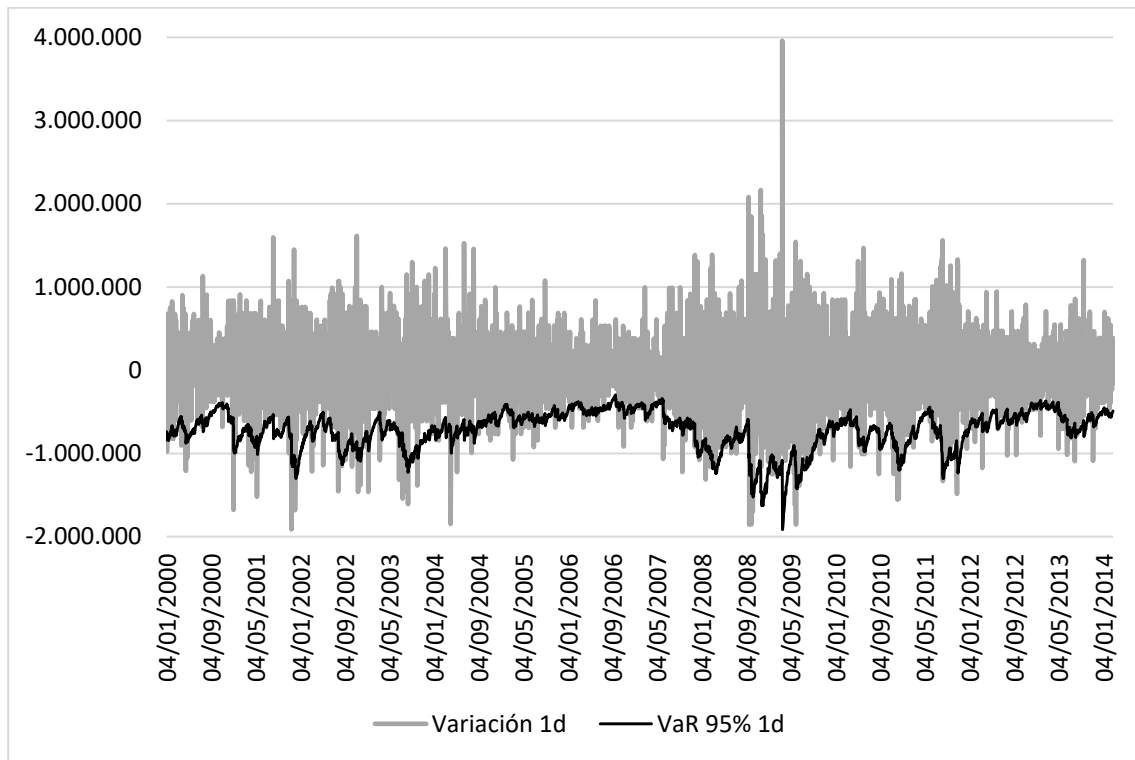


Gráfico 4.2 Variación precio 1 día y VaR EWMA 99% 1 día Tesoro

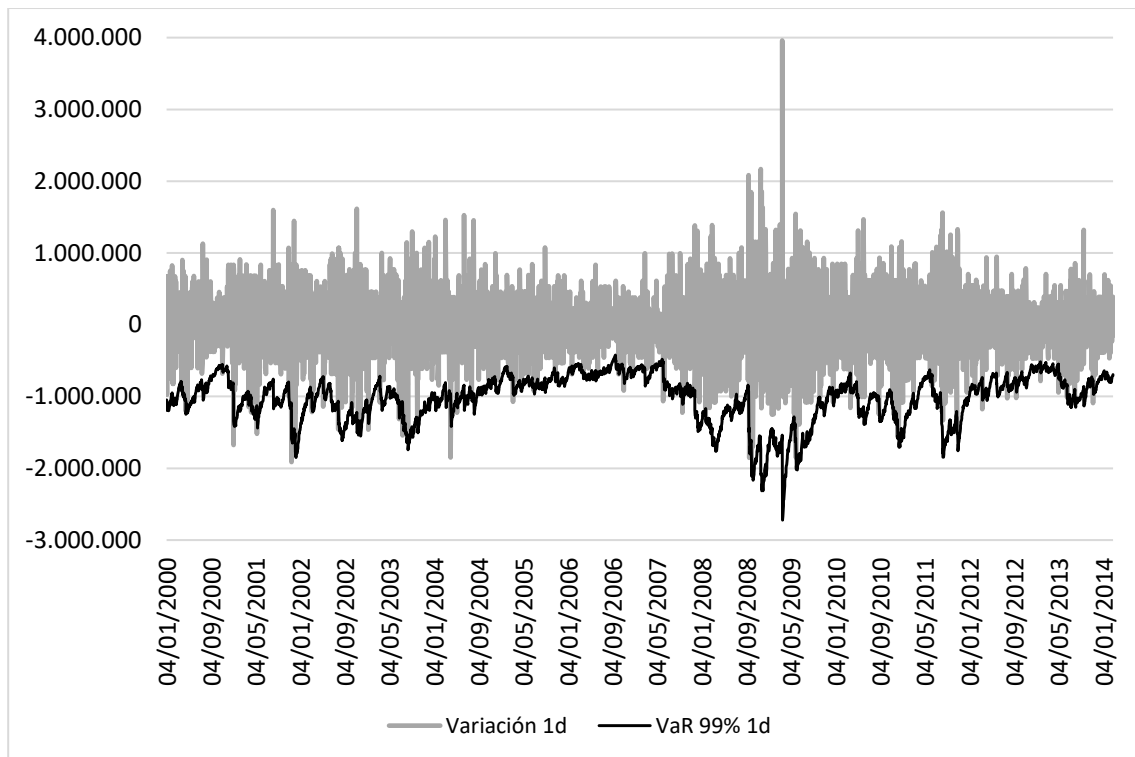


Gráfico 4.3 Variación precio 10 días y VaR EWMA 95% 10 días Tesoro

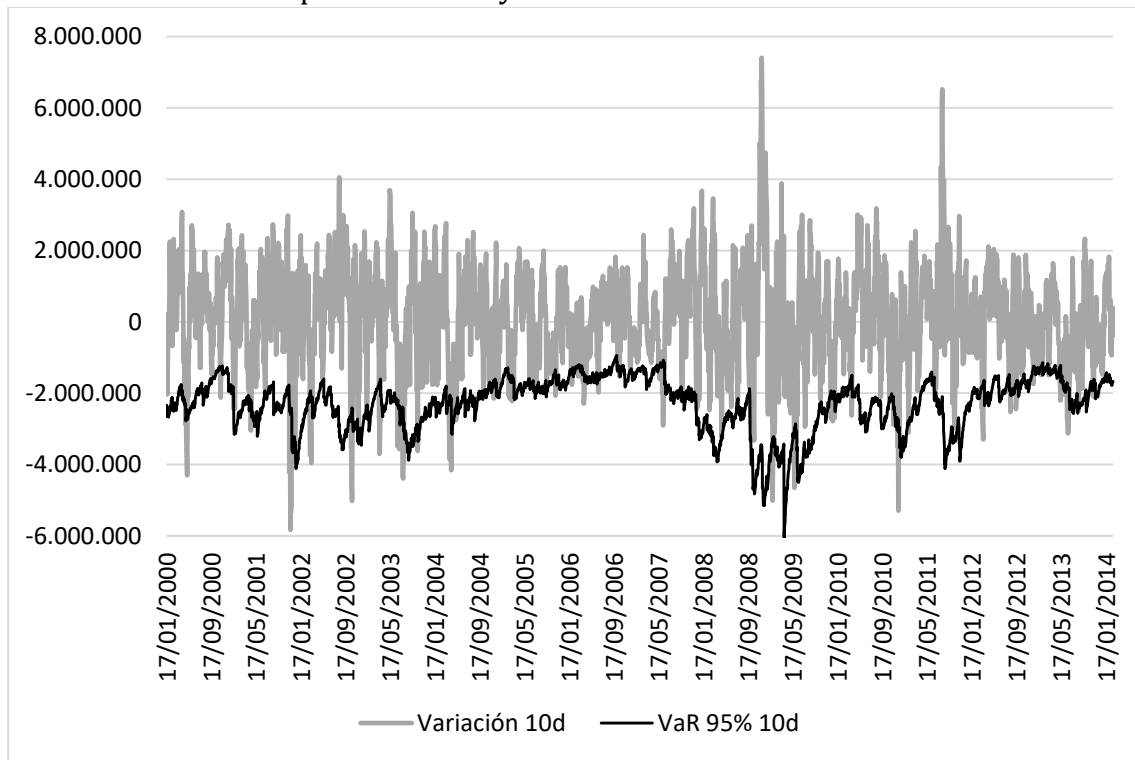
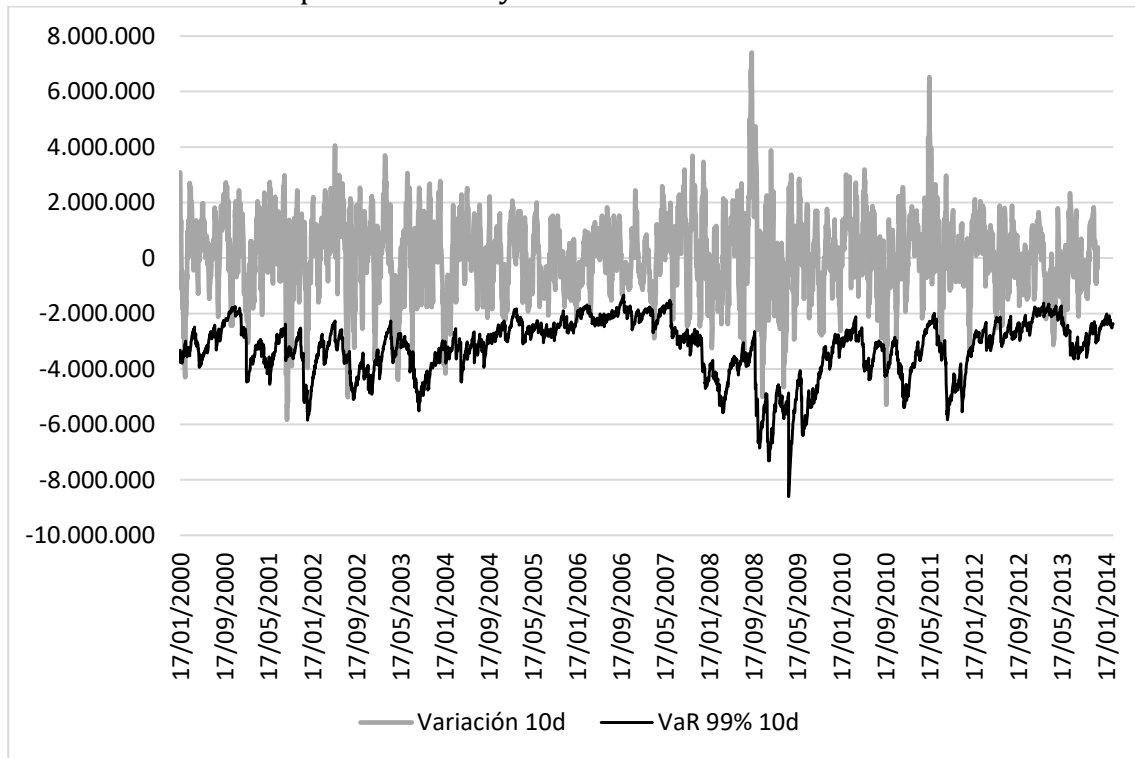


Gráfico 4.4 Variación precio 10 días y VaR EWMA 99% 10 días Tesoro



#### 4.4.2 VaR EWMA de los bonos corporativos

El análisis de las frecuencias de excesos registrados en el periodo 2000-2006 (Tablas 4.8 y 4.9) refleja que los modelos a 1 día presentan en general mejor comportamiento, siendo las frecuencias de 5,10% al 95% y de 1,64% al 99%. Los modelos a 10 días registran frecuencias más alejadas del 5% y 1% esperados, que se sitúan en el 7% al 95% y 2,37% al 99%. En los modelos a 1 día no se rechaza la nula siendo el valor de RV inferior al valor crítico del 5% de la chi-cuadrado en el modelo al 95%, e inferior al valor crítico al 1% en el modelo al 99%. En los modelos a 10 días, se rechaza a ambos niveles de confianza.

Tabla 4.8 Contraste Kupiec VaR EWMA corporativos 1 día 2000-2006

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-06	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-06
1824	93	1824	30
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,10%	1%	1,64%
RV	0,037	RV	6,412

Tabla 4.9 Contraste Kupiec VaR EWMA corporativos 10 días 2000-2006

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-06	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-06
1815	127	1815	43
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	7,00%	1%	2,37%
RV	13,631	RV	24,823

Entre 2007 y 2014 (Tablas 4.10 y 4.11) los modelos al 95%, tanto 1 día como 10 días, son los que muestran el mejor comportamiento con unos excesos del 5,78% a un día y 4,90% a 10 días. Los modelos al 99% se alejan más de los valores esperados con 1,77% de excesos a 1 día y 1,99% a 10 días. En los modelos al 95% no se rechaza la nula, mientras que al 99% se rechaza a ambos horizontes.



Tabla 4.10 Contraste Kupiec VaR EWMA corporativos 1 día 2007-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-14	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-14
1867	108	1867	33
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,78%	1%	1,77%
RV	2,309	RV	9,044

Tabla 4.11 Contraste Kupiec VaR EWMA corporativos 10 días 2007-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-14	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-14
1857	91	1857	37
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,90%	1%	1,99%
RV	0,039	RV	14,339

En el periodo 2000-2014 (Tablas 4.12 y 4.13), los excesos al 95% son de un 5,45% a 1 día y 5,92% a 10 días y al 99% son de 1,71% a 1 día y 2,17% a 10 días. En estas muestras no se rechaza la nula para ninguno de los modelos al 95% y se rechaza para ambos modelos al 99%.

Tabla 4.12 Contraste Kupiec VaR EWMA corporativos 1 día 2000-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	201	3691	63
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,45%	1%	1,71%
RV	1,502	RV	15,373

Tabla 4.13 Contraste Kupiec VaR EWMA corporativos 10 días 2000-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	218	3682	80
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,92%	1%	2,17%
RV	6,221	RV	38,311

En los Gráficos 4.5-4.8 se muestra la evolución de las pérdidas estimadas con los modelos VaR EWMA para la cartera de bonos corporativos y las variaciones diarias y a 10 días de los precios en el periodo 2000-2014.

Gráfico 4.5 Variación precio 1 día y VaR EWMA 95% 1 día bonos corporativos

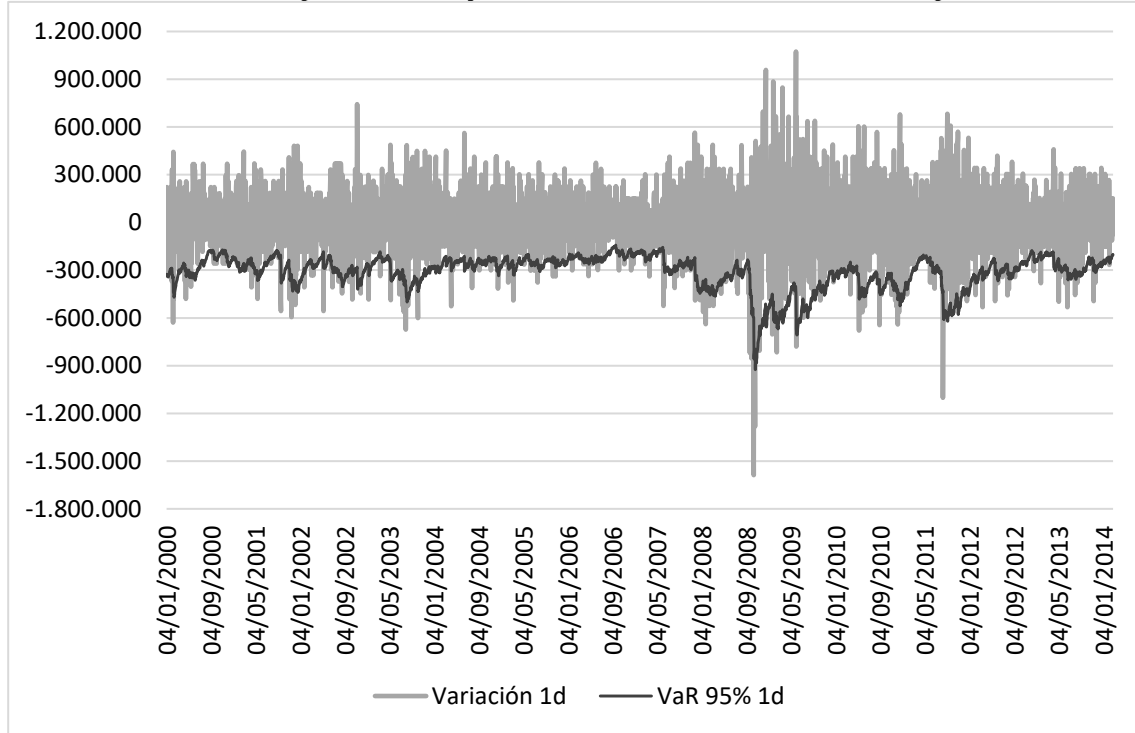


Gráfico 4.6 Variación precio 1 día y VaR EWMA 99% 1 día bonos corporativos

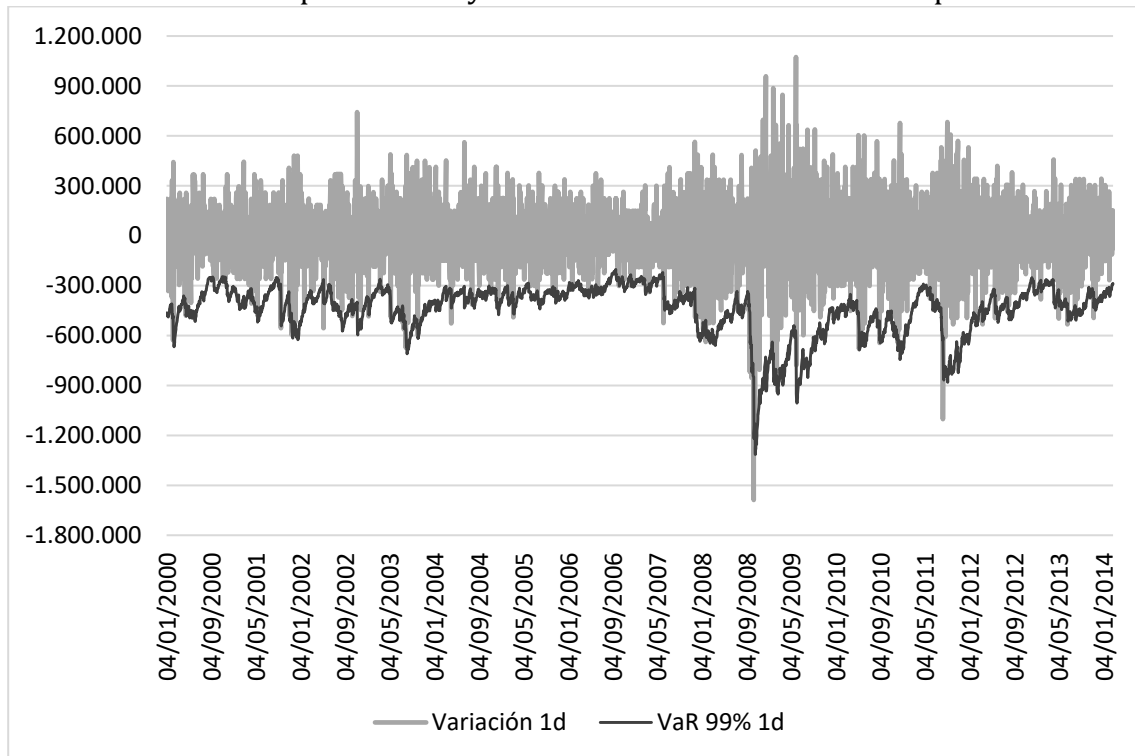


Gráfico 4.7 Variación precio 10 días y VaR EWMA 95% 10 días bonos corporativos

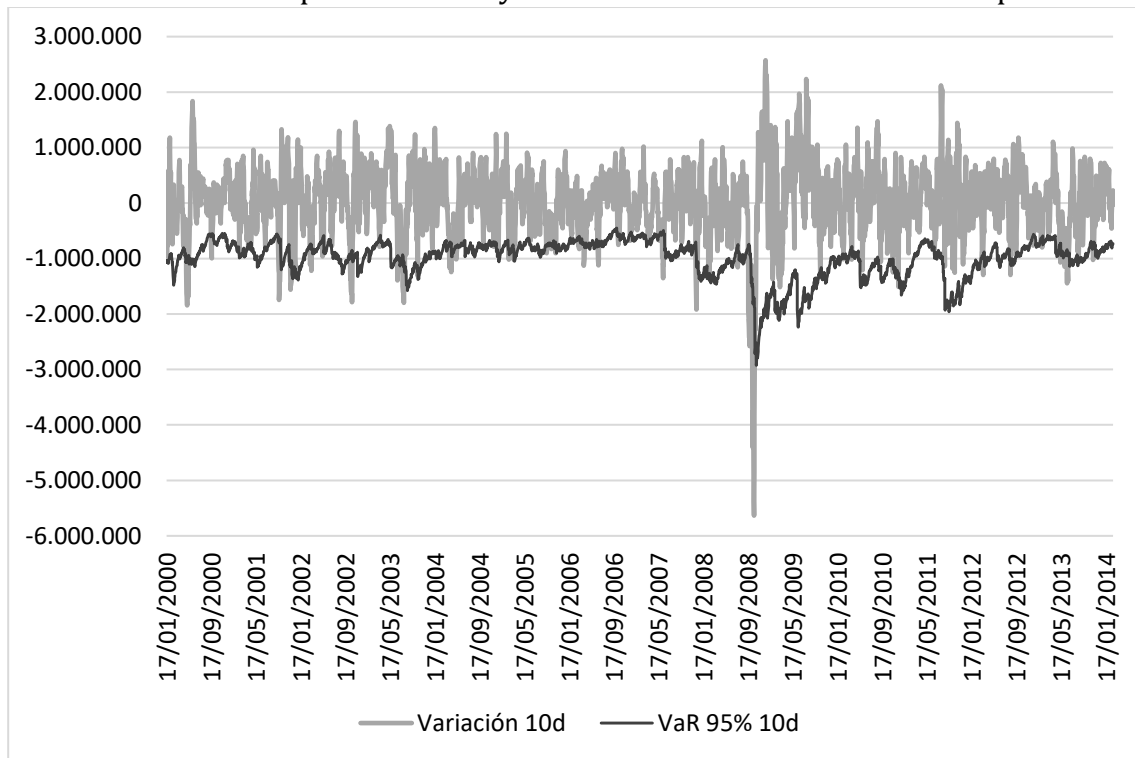
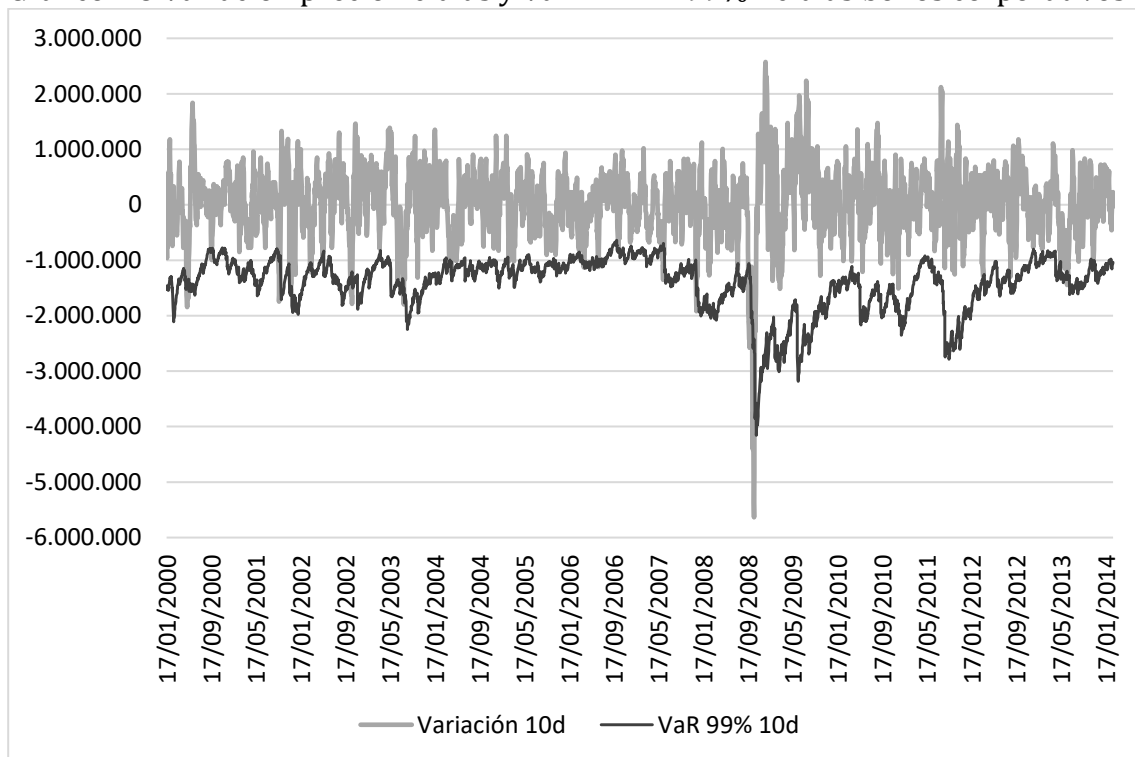


Gráfico 4.8 Variación precio 10 días y VaR EWMA 99% 10 días bonos corporativos



### 4.4.3 Capital regulatorio en base al VaR EWMA

En las normas de Basilea II el capital regulatorio se establece en función del VaR estimado con un nivel de confianza del 99% y horizonte 10 días. Según el párrafo 718Lxxvi, el capital regulatorio debe ser igual al valor mayor entre:

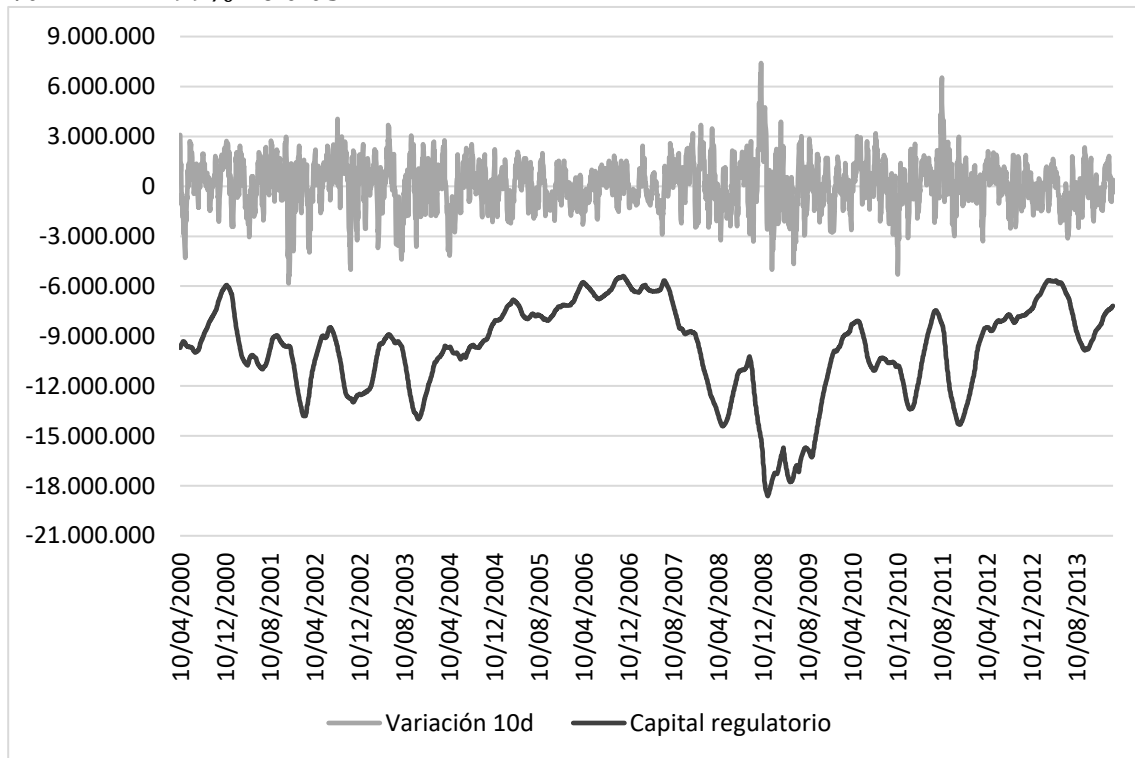
- el valor en riesgo del día anterior
- el promedio del valor en riesgo diario durante los 60 días hábiles anteriores, al que se le aplicará un factor de multiplicación, sujeto a un mínimo de 3 y un máximo de 4, en función de los resultados del test de contraste del modelo

Los Gráficos 4.9 y 4.10 muestran el nivel mínimo de capital regulatorio exigible en concepto de riesgo de mercado, según las normas de Basilea y la enmienda de 2004 a la regla neta de capital de la SEC, para la tenencia de bonos del Tesoro con las características de la cartera analizada. Las variaciones a 10 días y el capital regulatorio calculado para el mismo horizonte en base a los modelos VaR. Los valores de cada fecha  $t$  representan el capital calculado 10 días laborables antes, en  $t-10$  y la variación del precio es la diferencia entre el valor en  $t$  de los tipos de interés y el valor 10 días laborables antes.

Consideramos siempre la perspectiva de una posición larga, para la que las pérdidas son las variaciones negativas. Los requerimientos de capital se muestran a su vez con signo negativo, para reflejar el grado en el que habría margen para “absorber” las pérdidas reales que registraría un banco que hubiera comprado y apuntando en la cartera de negociación bonos como los analizados, en valor de 100 millones USD. Los resultados en este sentido son muy satisfactorios debido a que, en la totalidad de los 14 años analizado, el capital calculado con arreglo a las normas citadas es superior a las pérdidas registradas.

Como se muestra en el Gráfico 4.9, el modelo VaR EWMA para los bonos del Tesoro permite calcular un capital mínimo regulatorio superior en todo momento a las variaciones a 10 días de los precios de los bonos.

Gráfico 4.9 Variación del precio 10 días y capital regulatorio bonos Tesoro basado en el VaR EWMA 99% 10 días



En el caso de los bonos corporativos (Gráfico 4.10), en la gran mayoría de los casos el capital mínimo regulatorio exigible para los bonos corporativos es superior a las pérdidas que registraría una posición larga en los mismos. Se registran 3 excepciones en las fechas 17/10/2008, 20/10/2008 y 21/10/2008, cuando la variación a 10 días de los precios es mayor que el capital regulatorio. La variación de los tipos de interés a 10 días es excepcionalmente elevada (aproximadamente 9 veces la desviación típica incondicional), comparada con las variaciones del resto del periodo<sup>48</sup>.

En base a los resultados de la metodología de contraste<sup>49</sup> expuesta en el Anexo 10a de Basilea II (CBSB 2006c), el factor de multiplicación aplicado al promedio del VaR en base al cual se calcula el capital regulatorio, podría aumentar hasta el máximo igual a 4. En este caso el capital regulatorio sería superior a las variaciones de los precios a 10 días (Tabla 4.14), calculadas en base a la variación de los tipos de interés y la sensibilidad.

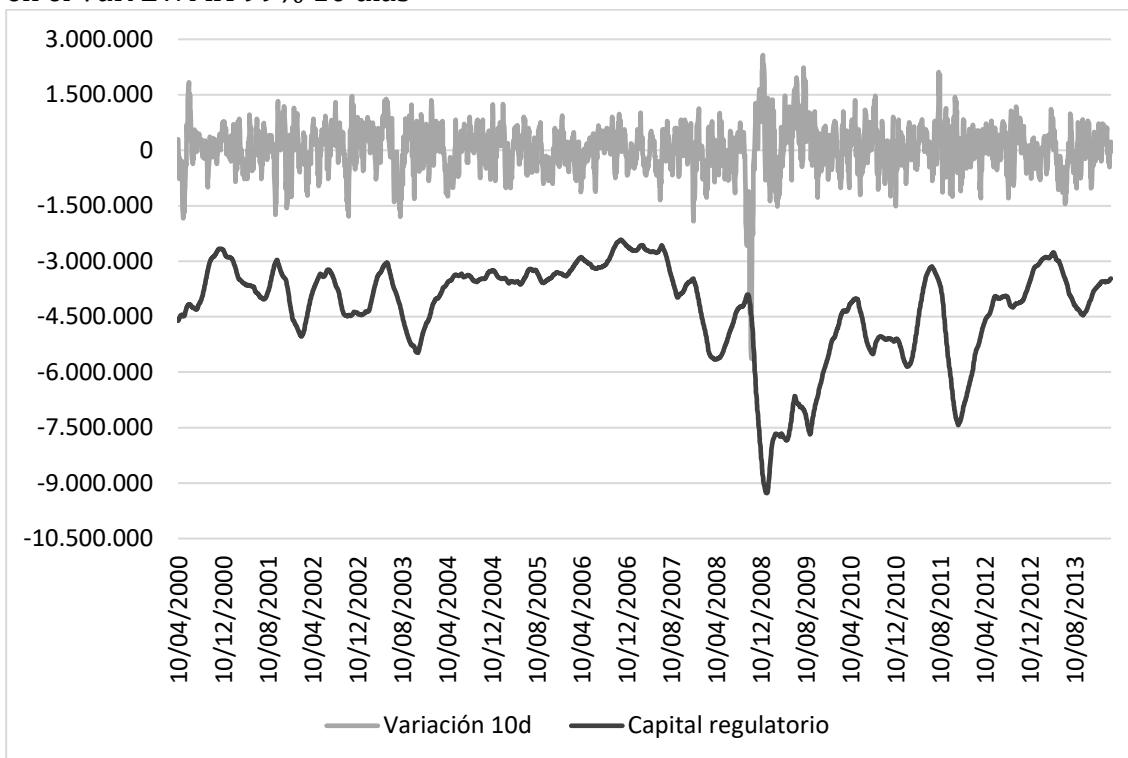
<sup>48</sup> El Anexo 16 muestra las variaciones a 10 días de los tipos de interés que generan la variación de los precios.

<sup>49</sup> En base al análisis de las frecuencias de excesos del modelo a 99% y 1día, en muestras de 250 días. Ver más detalles en el Anexo 17.

Tabla 4.14 Capital regulatorio con factores de multiplicación 3 y 4

Fecha	Variación precio 10d	Capital VaR EWMA (m=3)	Capital VaR EWMA (m=4)
17/10/2008	-5.371.365	4.423.276	5.897.701
20/10/2008	-5.634.325	4.482.365	5.976.486
21/10/2008	-4.849.607	4.539.716	6.052.955

Gráfico 4.10 Variación del precio 10 días y capital regulatorio bonos corporativos basado en el VaR EWMA 99% 10 días



## 4.5 Modelos VaR con volatilidad condicional estimada con modelos GARCH (1,1)

A continuación, se denomina  $r_t$  a la primera diferencia de los tipos de interés. Para estimar la volatilidad condicional de  $r_t$  se utiliza el siguiente modelo<sup>50</sup>:

$$r_t = \mu + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t / \Phi_{t-1} \sim N(\mu, \sigma_t^2)$$

La distribución de probabilidad de  $\varepsilon_t$  se considera condicional al conjunto de choques aleatorios ocurridos en las fechas anteriores,  $\Phi_{t-1}$ . La varianza de  $\varepsilon_t$  es igual a

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Para estimar los parámetros se utilizan los datos de los primeros 6 años comprendidos entre el 03/01/2000 y el 29/12/2006, que suman 1.824 observaciones diarias.

En las estimaciones iniciales, el parámetro  $\hat{\mu}$  no resultó significativamente distinto de cero por lo que se han reestimado los modelos sin el término constante. Los resultados de las estimaciones se muestran en el Anexo 14.

$$r_t = \varepsilon_t \quad \varepsilon_t / \Phi_{t-1} \sim N(0, \sigma_t^2)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Una vez estimados los parámetros  $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\beta}$ , se calculan las volatilidades condicionales diarias:

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \hat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \hat{\beta} \hat{\sigma}_{t-1}^2}$$

Los coeficientes se muestran en la Tabla 4.15. Todos los parámetros resultan significativos con una probabilidad inferior al 5%.

---

<sup>50</sup> Para más detalles ver Capítulo 3, apartado 3.6

Tabla 4.15 Parámetros estimados para el cálculo de la volatilidad condicional

	Bonos Tesoro	Bonos corporativos
$\hat{\alpha}_0$	1,94E-09	3,79E-09
$\hat{\alpha}_1$	0,0314	0,0325
$\hat{\beta}$	0,9621	0,9482

Para analizar los resultados de los modelos VaR, la muestra se ha dividido en dos sub-periodos: 2000 – 2006, que comprende los datos que pertenecen a la muestra en base a la cual se estiman los parámetros del modelo GARCH, y los 7 años posteriores entre 2007 y febrero de 2014, en el que se puede analizar el comportamiento de los modelos fuera de la muestra utilizada para la estimación de los parámetros. Como en el caso de los modelos VaR EWMA se muestran también los resultados para todo el periodo 2000-2014.

#### 4.5.1 VaR GARCH de los bonos del Tesoro a 10 años

Los resultados del test de Kupiec para los modelos que emplean las volatilidades estimadas con modelos GARCH(1,1) se recogen en las Tablas 4.16-4.19.

En el periodo 2000-2006 la frecuencia de excesos registrada con los modelos VaR RM son próximos al nivel de confianza en los modelos estimados al 95%. Al 99% las frecuencias exceden las esperadas por un mayor porcentaje. Las frecuencias son de un 5,15% y de un 5,73% respectivamente. Al 99% las frecuencias superan el 1% esperado siendo de 1,75% a un día y 2,09% a 10 días.

Se rechaza la hipótesis nula para los modelos al 99% y 1 día y 10 días y al 95% no se rechaza a ninguno de los dos horizontes.

Tabla 4.16 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos Tesoro 2000-2006

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	94	1824	32
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,15%	1%	1,75%
RV	0,090	RV	8,560



Tabla 4.17 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos Tesoro 2000-2006

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	104	1815	38
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,73%	1%	2,09%
RV	1,949	RV	16,678

Los modelos muestran mejor comportamiento en el periodo 2007-2014 (Tablas 4.18 y 4.19), comparado con el periodo 2000-2006: al 95% se registran 4,87% excesos a 1 día y 4,47% a 10 días. Al 99% son 1,39 excesos a 1 día y 0,92% a 10 días. Para todos los modelos en 2007-2014 el valor de RV es inferior al valor crítico de la chi-cuadrado al 5%.

Tabla 4.18 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos Tesoro 2007-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1867	91	1867	26
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,87%	1%	1,39%
RV	0,063	RV	2,590

Tabla 4.19 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos Tesoro 2007-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	83	1857	17
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,47%	1%	0,92%
RV	1,139	RV	0,138

En 2000-2014 (Tablas 4.20 y 4.21) los modelos al 95% registran un 5,01% de excesos a 1 día y un 5,08% a 10 días. Al 99% los porcentajes son de 1,57% a 1 día y 1,49% a 10 días. No se rechaza la nula en ninguno de los modelos al 95%; al 99% se rechaza para ambos horizontes.

Tabla 4.20 Contraste Kupiec VaR GARCH Tesoro 2000-2014 1 día

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	185	3691	58
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,01%	1%	1,57%
RV	0,001	RV	10,369

Tabla 4.21 Contraste Kupiec VaR GARCH Tesoro 2000-2014 10 días

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	187	3682	55
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,08%	1%	1,49%
RV	0,048	RV	7,873

La evolución diaria de los modelos a los dos horizontes y niveles de confianza se muestra a continuación en los Gráficos 4.11-4.14 para todo el periodo 2000 – 2014.

Gráfico 4.11 Variación precio 1 día y VaR GARCH 95% 1 día y bonos Tesoro

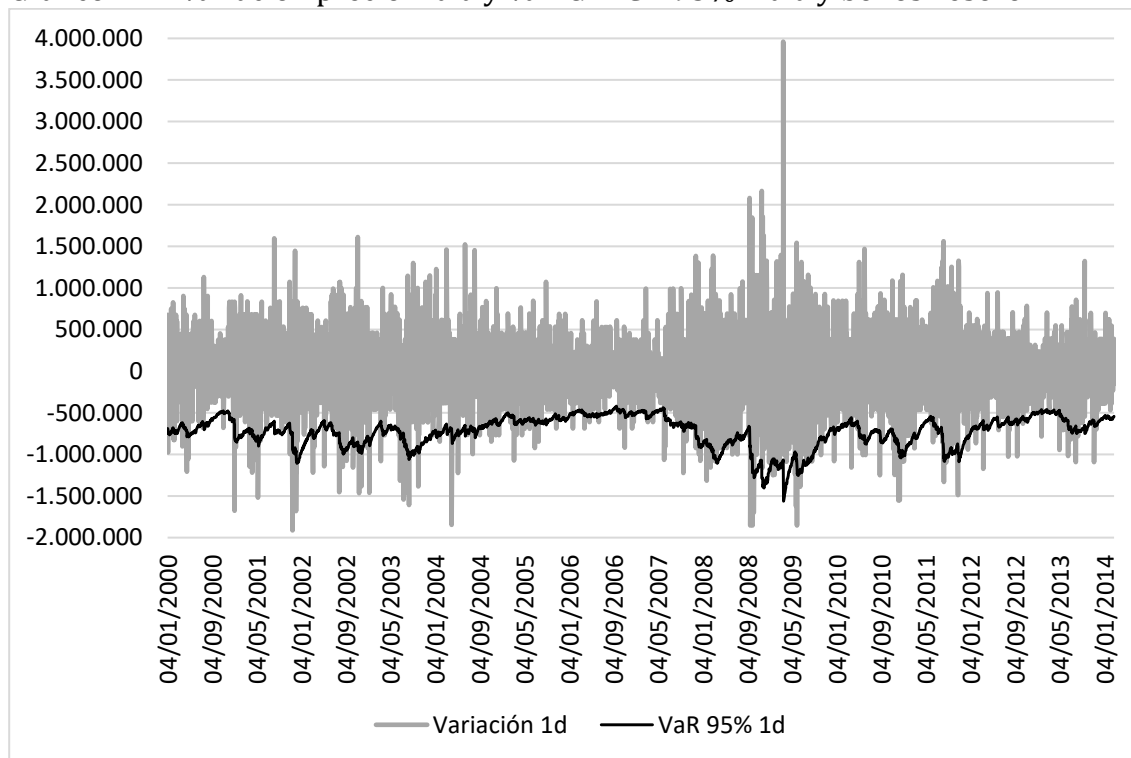


Gráfico 4.12 Variación precio 1 día y VaR GARCH 99% 1 día bonos Tesoro

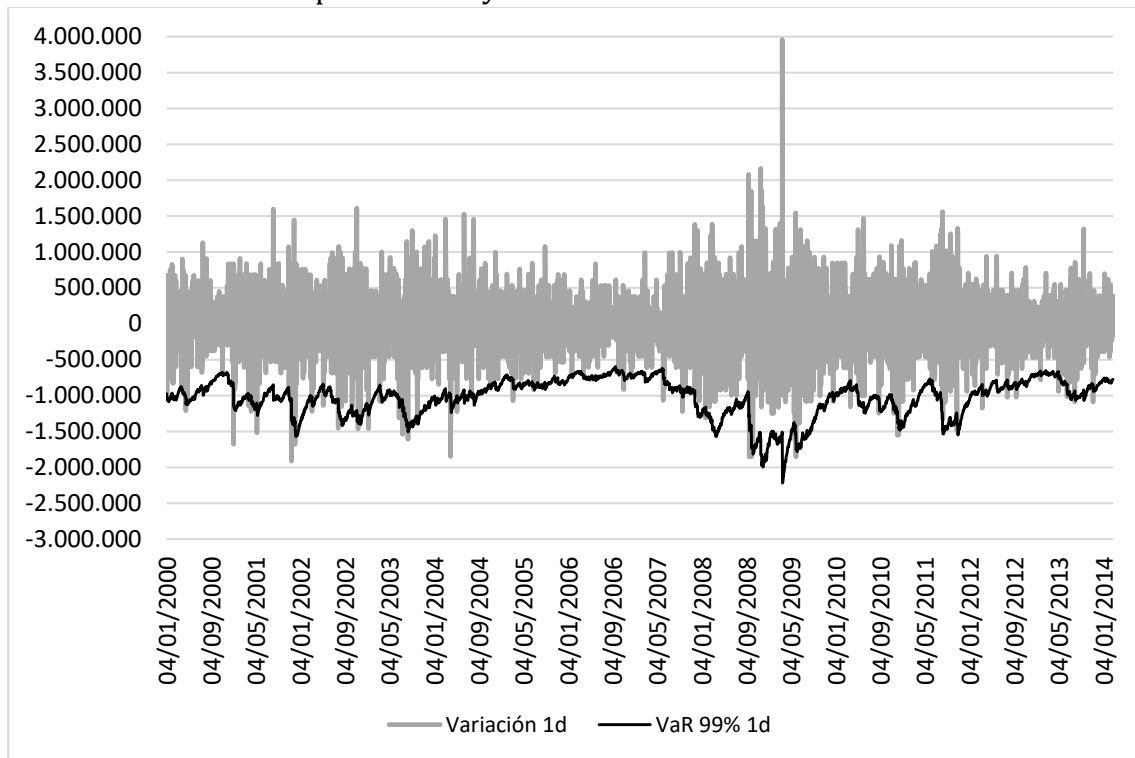


Gráfico 4.13 Variación precio 10 días y VaR GARCH 95% 10 día bonos Tesoro

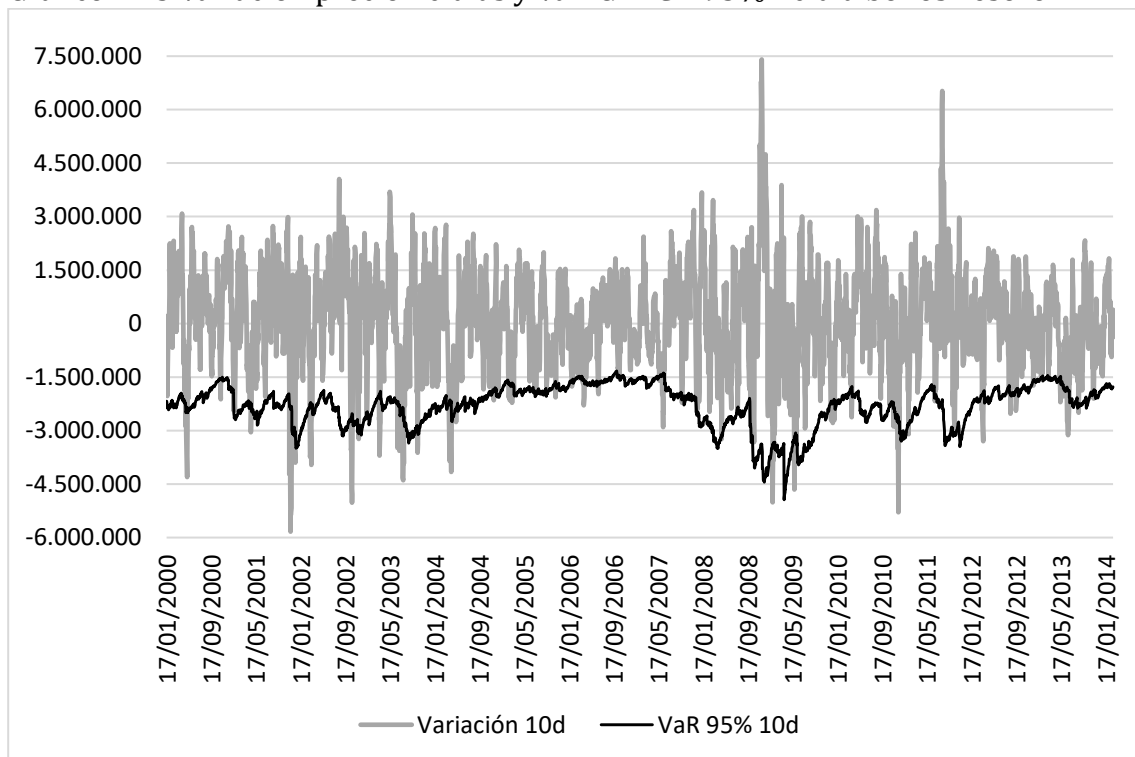
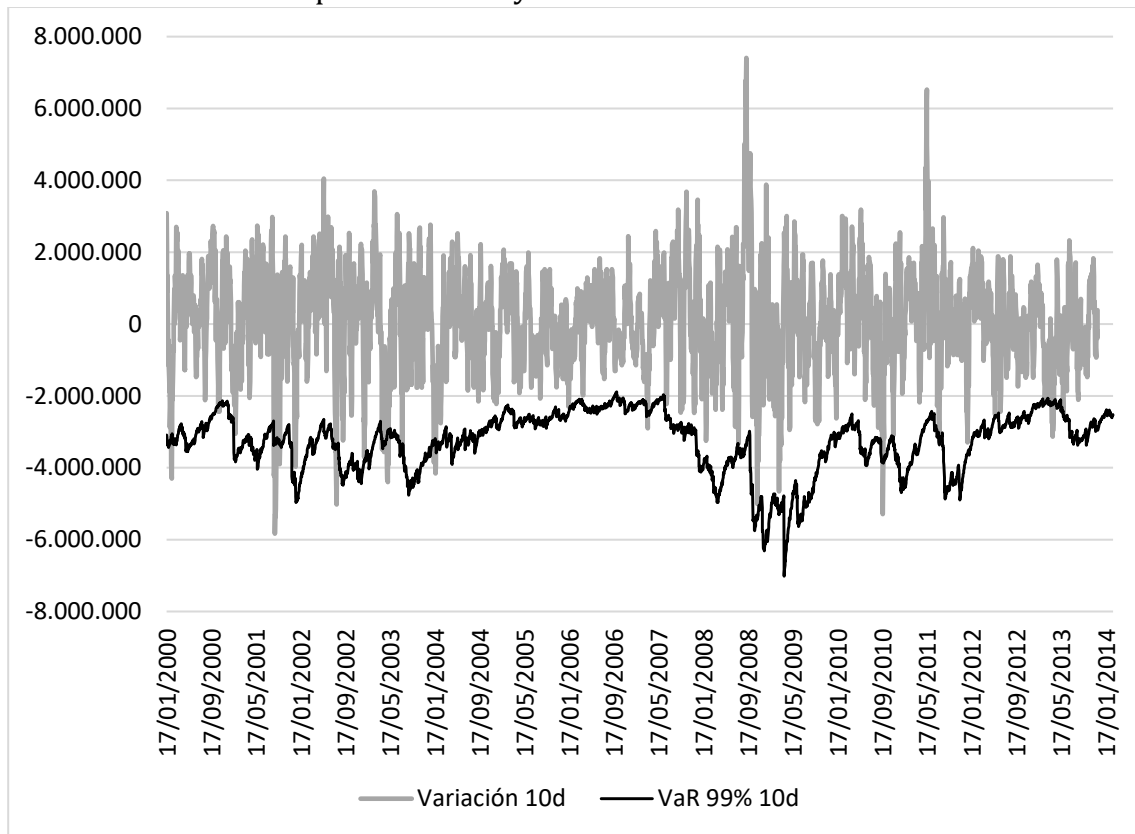


Gráfico 4.14 Variación precio 10 días y VaR GARCH 99% 10 días bonos Tesoro



### 4.5.3 VaR GARCH de los bonos corporativos

Los resultados de los modelos VaR GARCH para los bonos corporativos se muestran en las Tablas 4.22-4.25. Entre 2000-2006, las frecuencias de los excesos son más próximas a las esperadas en los modelos a 1 día. Al 95% y 1 día la frecuencia sobrepasa ligeramente el 5%, situándose en el 5,04% y al 99% y 1 día la frecuencia se sitúan en el 1,48%. A 10 días se registra una frecuencia de 5,95% para el nivel de confianza del 95% y un 2,09% al 99%. Como en el caso de los bonos del Tesoro, los modelos al 95% registran frecuencias más próximas a las esperadas.

Se rechaza la nula únicamente para el modelo al 99% y 10 días. En el resto de modelos la RV es inferior al valor crítico al 5%.

Tabla 4.22 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos corporativos 2000-2006

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	92	1824	27
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,04%	1%	1,48%
RV	0,007	RV	3,702

Tabla 4.23 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos corporativos 2000-2006

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	108	1815	38
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,95%	1%	2,09%
RV	3,262	RV	16,678

En el periodo 2007-2014 las frecuencias aumentan por encima de las esperadas en los modelos a 1 día, siendo de 6,27% en al 95% de confianza y 2,30% al 99%. A 10 días los resultados mejoran y son 4,58% los excesos registrados al 95% y 1,72% al 99%.

Se rechaza la nula para los modelos al 99% tanto a 1 día como a 10 días. No se rechaza para los modelos al 95%, con una probabilidad del 1% a 1 día y del 5% a 10 días.

Tabla 4.24 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos corporativos 2007-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1867	117	1867	43
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	6,27%	1%	2,30%
RV	5,858	RV	23,410

Tabla 4.25 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos corporativos 2007-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	85	1857	32
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,58%	1%	1,72%
RV	0,718	RV	8,066

Entre 2000-2014 los modelos al 95% tienen mejor comportamiento que los contruidos al 99%. Las frecuencias al 95% son de un 5,66% a 1 día y 5,24% a 10 días. Los modelos con nivel de confianza 99% registran un 1,90% de excesos a los dos horizontes temporales.

No se rechaza la nula para los modelos al 95%, siendo el valor de RV inferior al valor crítico al 5%. Se rechaza para ambos horizontes temporales en los modelos contruidos al 99%.

Tabla 4.26 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos corporativos 2000-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	209	3691	70
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,66%	1%	1,90%
RV	3,276	RV	23,722

Tabla 4.27 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos corporativos 2000-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	193	3682	70
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,24%	1%	1,90%
RV	0,446	RV	23,887

La evolución diaria de los VaR a los dos horizontes y niveles de confianza se muestra a continuación en los Gráficos 4.15-4.18 para todo el periodo 2000 – 2014.

Gráfico 4.15 Variación precio 1 día y VaR GARCH 95% 1 día bonos corporativos

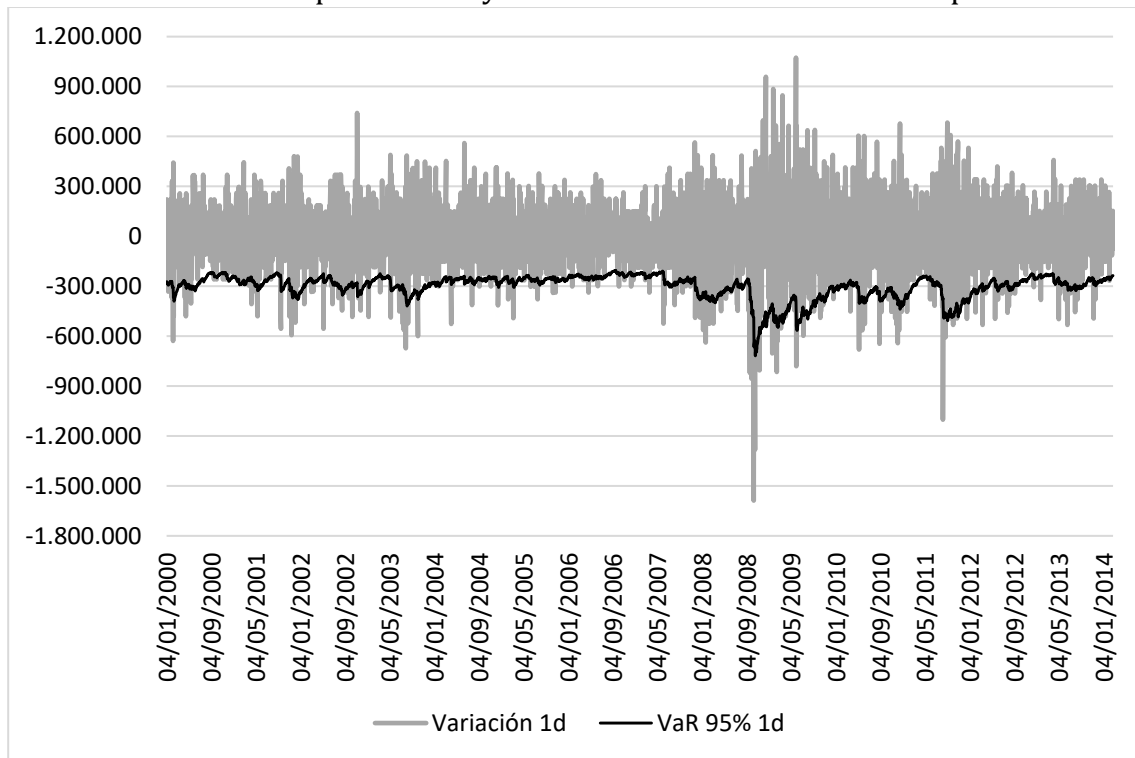


Gráfico 4.16 Variación precio 1 día y VaR GARCH 99% 1 día bonos corporativos

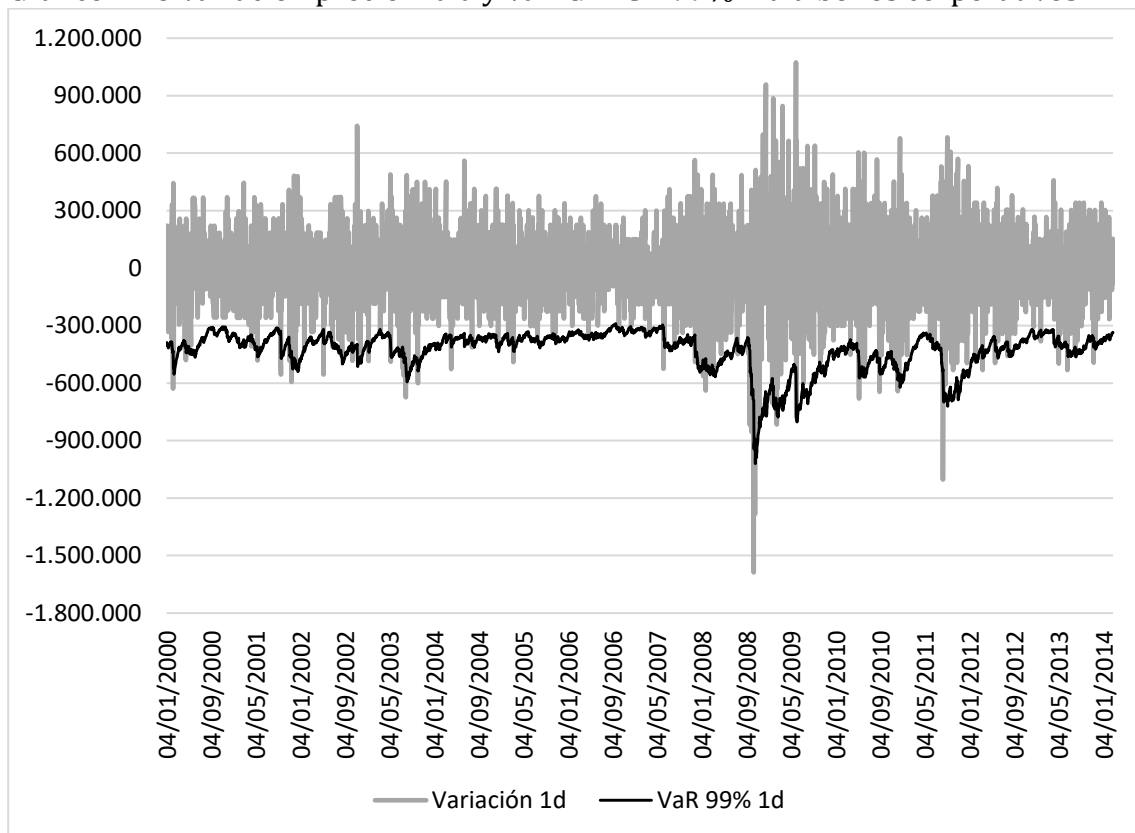


Gráfico 4.17 Variación precio 10 días y VaR GARCH 95% 10 días bonos corporativos

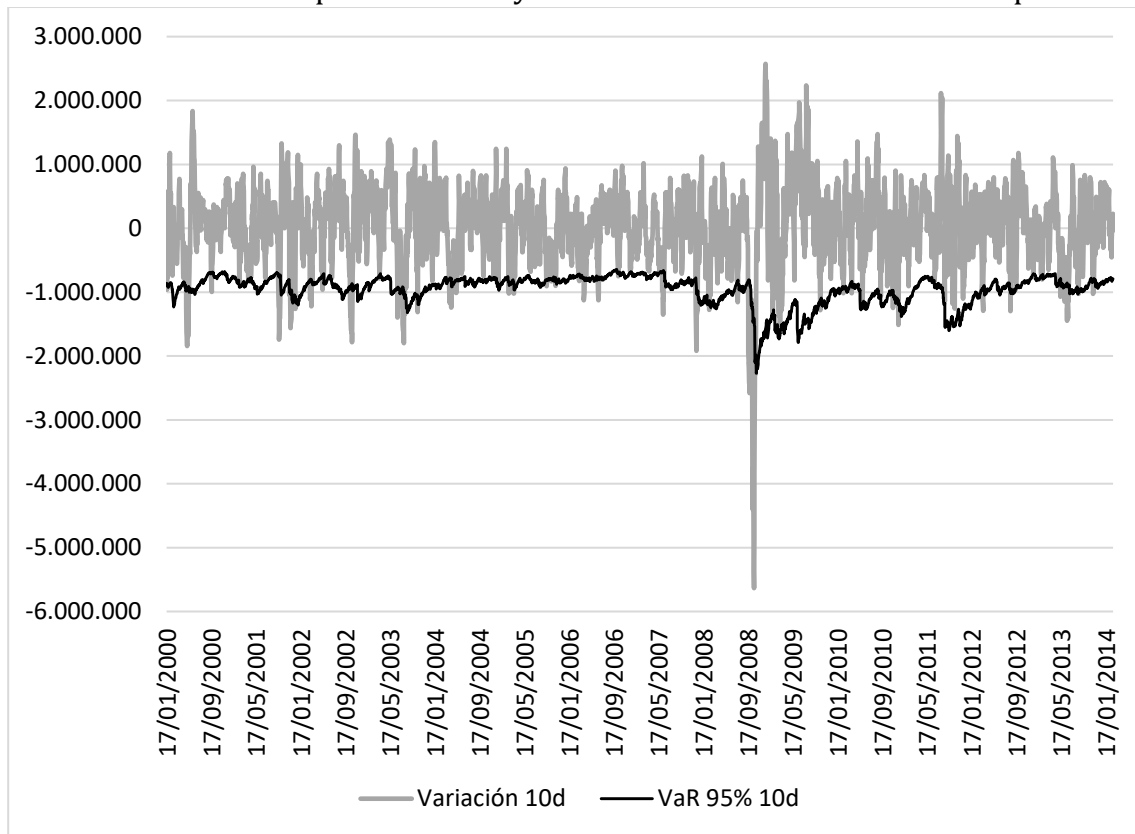
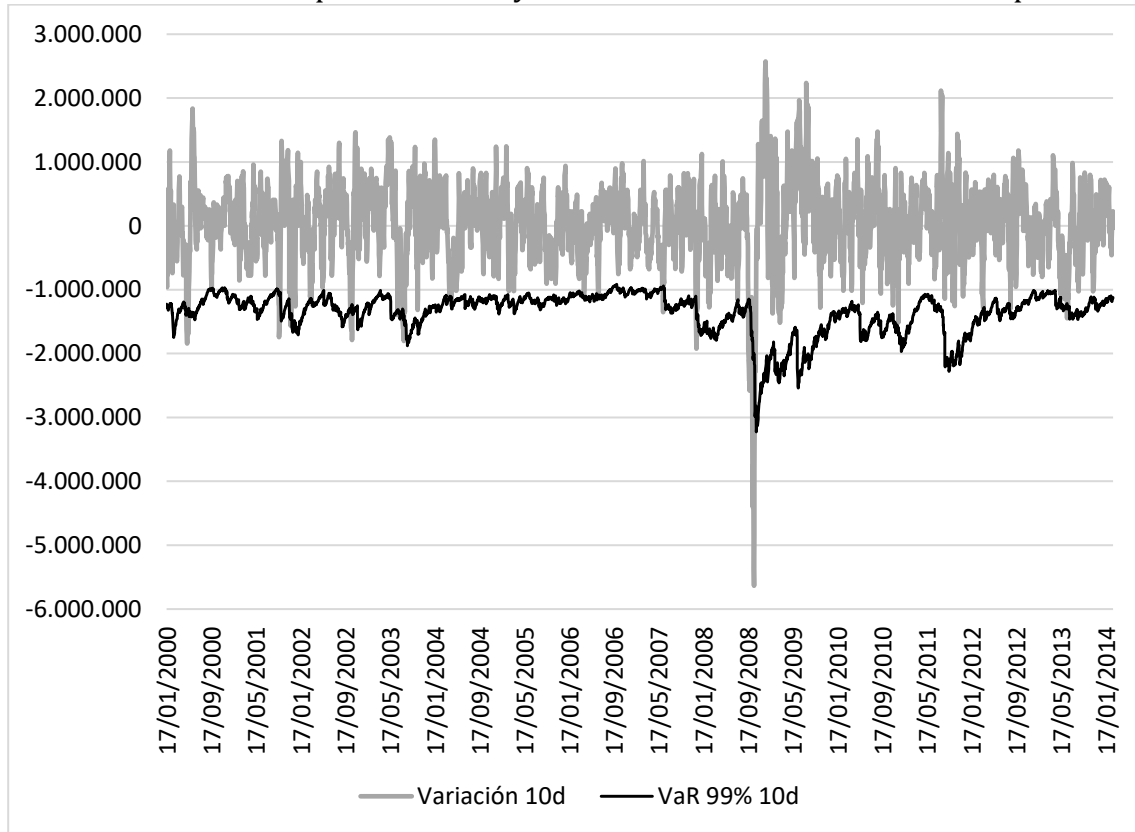


Gráfico 4.18 Variación precio 10 días y VaR GARCH 99% 10 días bonos corporativos

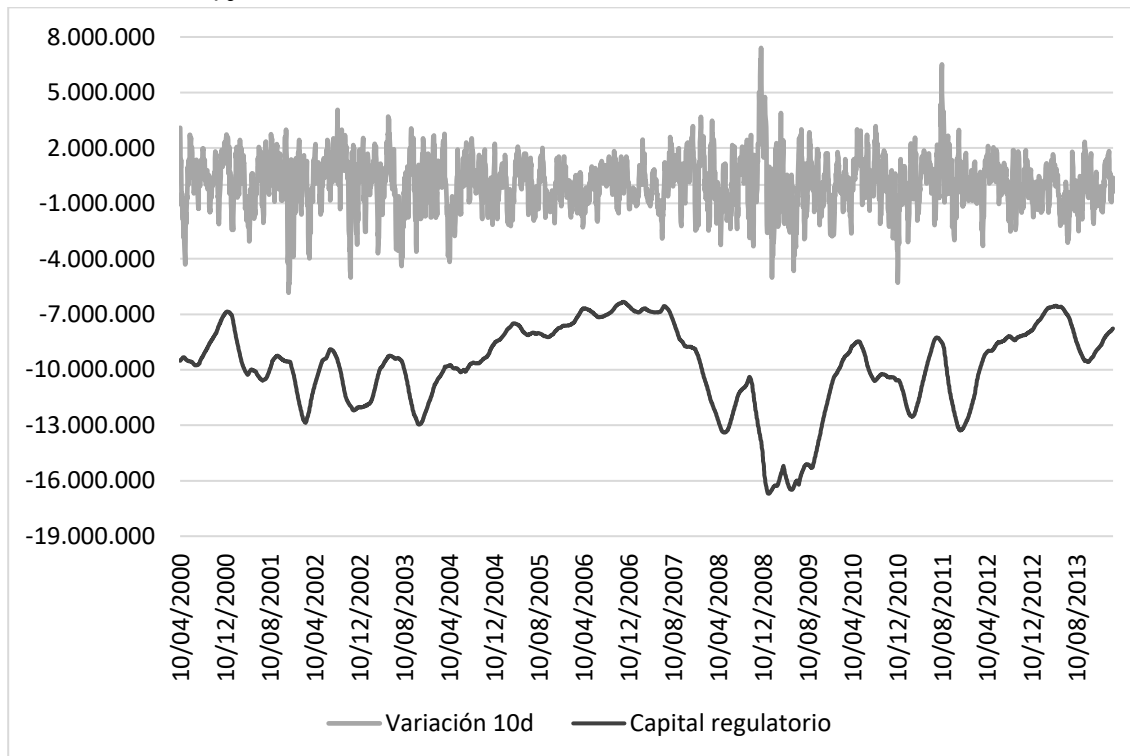




#### 4.5.4 Capital regulatorio en base al VaR GARCH para las carteras de bonos

El capital mínimo regulatorio calculado en base al VaR GARCH al 99% y 10 días de horizonte para los bonos del Tesoro es superior en todo momento a las pérdidas registradas en un horizonte de 10 días.

Gráfico 4.19 Variación del precio 10 días y capital regulatorio bonos Tesoro basado en el VaR GARCH 99% 10 días



Los requerimientos de capital de la cartera de bonos corporativos se muestran en el Gráfico 4.20. Al igual que en el caso de los modelos VaR EWMA, la variación a 10 días de los precios sólo es superior al capital mínimo en las fechas 17/10/2008, 20/10/2008 y 21/10/2008.

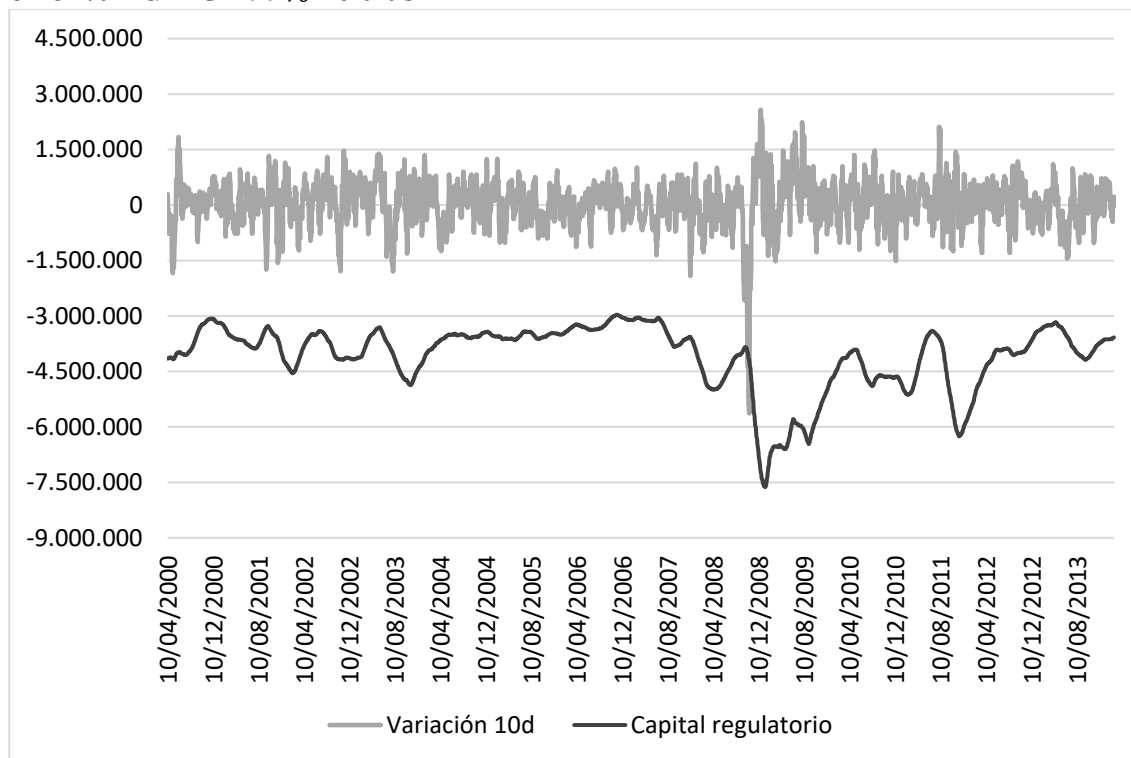
En la Tabla 4.28 se ha calculado el capital con el factor de multiplicación máximo, cuya aplicación sería justificada en base a las pruebas de contraste del Anexo 10a (*ibid*)<sup>51</sup>. Se observa que el capital mínimo calculado de esta manera es superior a las pérdidas de los días 17 y 21, siendo el día 20 el único para el que las pérdidas superan el capital mínimo.

<sup>51</sup> Ver más detalles en el Anexo 17.

Tabla 4.28 Capital regulatorio con factor de multiplicación 3 y 4

Fecha	Variación precio 10d	CMR (m=3)	CMR (m=4)
17/10/2008	-5.371.365	4.152.471	5.536.628
20/10/2008	-5.634.325	4.190.123	5.586.831
21/10/2008	-4.849.607	4.226.867	5.635.822

Gráfico 4.20 Variación del precio 10 días y capital regulatorio bonos corporativos basado en el VaR GARCH 99% 10 días



## 4.6 Conclusiones

En el presente capítulo se ha calculado el VaR para dos carteras de bonos públicos y corporativos en el periodo 2000-2014. En base a las normas de Basilea II, se ha calculado el capital mínimo regulatorio para cada categoría de bonos. En el caso de los bonos públicos, el capital mínimo regulatorio calculado en base a los modelos VaR construidos con un nivel de confianza del 99% y un horizonte temporal de 10 días es superior a las pérdidas registradas en todo el periodo analizado. Aparte de una excepción el día 20.10.2008, los resultados se mantienen en el caso de los bonos corporativos



## Capítulo 5. VaR de bonos con riesgo de cambio

Siguiendo con el análisis de los modelos de riesgo para bonos expuestos en el capítulo anterior, a continuación, se analiza, para los mismos instrumentos, el riesgo derivado de las variaciones del tipo de cambio al que se vería expuesta una entidad que haya adquirido los bonos denominados en dólares y cuya moneda funcional a efectos de la confección de los estados financieros y la cuenta de pérdidas y ganancias es el euro. Para ello se introduce en el modelo de riesgo de cada cartera de bonos la variación del tipo de cambio, como factor de riesgo adicional a la variación de los tipos de interés que puede generar pérdidas adicionales o mitigar las pérdidas en dólares.

### 5.1 Modelo VaR para bonos incorporando el riesgo derivado de la variación del tipo de cambio

Sea  $P$  el precio diario de un bono expresado en USD y  $N$  el número de bonos de la cartera.  $V$  es el valor de la cartera expresado en euros que igual al producto del precio diario de los bonos en USD multiplicados por el tipo de cambio contado EUR/USD. Denominando  $e$  al tipo de cambio contado EUR/USD:

$$V = NPe$$

Expresando la variación en función de los dos factores de riesgo, el tipo de interés y el tipo de cambio, se obtiene:

$$\Delta V = N\Delta(Pe) = N(\Delta Pe + P\Delta e) = NP \frac{\Delta P}{P} e + NPe \frac{\Delta e}{e}$$

$$\Delta V = NPe \left( \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta e}{e} \right)$$

Introducimos la hipótesis de que las variaciones relativas del precio  $(\Delta P / P)$  y del tipo de cambio  $(\Delta e / e)$  se distribuyen como variables aleatorias normales con media nula y varianzas  $\sigma_{\Delta P/P}^2$  y  $\sigma_{\Delta e/e}^2$ .

Llamamos  $\rho$  al coeficiente de correlación entre las dos variables y  $\sigma_{\Delta V}^2$  la varianza de  $\Delta V$ , podemos escribir:

$$\sigma_{\Delta V}^2 = N^2 P^2 e^2 \left( \sigma_{\frac{\Delta P}{P}}^2 + \sigma_{\frac{\Delta e}{e}}^2 + 2\rho \sigma_{\frac{\Delta P}{P}} \sigma_{\frac{\Delta e}{e}} \right)$$

$$\sigma_{\Delta V}^2 = N^2 P^2 e^2 \sigma_{\frac{\Delta P}{P}}^2 + N^2 P^2 e^2 \sigma_{\frac{\Delta e}{e}}^2 + 2\rho N P e \sigma_{\frac{\Delta P}{P}} N P e \sigma_{\frac{\Delta e}{e}}$$

$\Delta V$  es la suma de dos variables aleatorias multiplicadas por un escalar, por lo que sigue a su vez una distribución normal. El VaR de la cartera es:

$$\text{VaR}_{\Delta V}(\alpha) = k(\alpha) \sigma_{\Delta V}$$

Donde  $k(\alpha)$  es el valor crítico que corresponde al nivel de confianza  $1 - \alpha$  en una variable aleatoria normal estándar.

Expresando la relación anterior en función de la varianza calculada anteriormente y considerando un horizonte diario:

$$\text{VaR}_{\Delta V}(\alpha) = k(\alpha) \sqrt{\sigma_{\Delta V}^2}$$

$$\text{VaR}_{\Delta V}(\alpha)^2 = k(\alpha)^2 \sigma_{\Delta V}^2$$

$$\text{VaR}_{\Delta V}(\alpha)^2 = k(\alpha)^2 N^2 P^2 e^2 \sigma_{\frac{\Delta P}{P}}^2 + k(\alpha)^2 N^2 P^2 e^2 \sigma_{\frac{\Delta e}{e}}^2 +$$

$$2\rho k(\alpha) N P e \sigma_{\frac{\Delta P}{P}} k(\alpha) N P e \sigma_{\frac{\Delta e}{e}}$$

Llamamos:  $\text{VaR}_P(\alpha) = k(\alpha) N P e \sigma_{\frac{\Delta P}{P}}$  y  $\text{VaR}_e(\alpha) = k(\alpha) N P e \sigma_{\frac{\Delta e}{e}}$

$\text{VaR}_P(\alpha)$  es equivalente al VaR de la cartera de bonos (del Tesoro y corporativos) calculado en el capítulo anterior multiplicado por el tipo de cambio.

$$\text{VaR}_P(\alpha) = k(\alpha) \text{NPe} \sigma_{\frac{\Delta P}{P}} = k(\alpha) \text{SNP} \sigma_{\Delta r_t} e$$

El VaR de la cartera expresada en euros para un horizonte diario es:

$$\text{VaR}_{\Delta V}(\alpha) = \sqrt{\text{VaR}_P^2(\alpha) + \text{VaR}_e^2(\alpha) + 2\rho \text{VaR}_P(\alpha) \text{VaR}_e(\alpha)}$$

Para el VaR al horizonte  $h$  multiplicamos la expresión anterior por la raíz de  $h$ :

$$\text{VaR}_{\Delta V}(\alpha)_{t+h|t} = \text{VaR}(\alpha) \sqrt{h}$$

La incorporación del riesgo derivado de la evolución del tipo de cambio del euro con respecto al dólar permite estimar la pérdida máxima que puede registrar un banco que tuviera en la cartera de negociación una posición en los bonos analizados y cuya moneda funcional es el euro, ante los movimientos de los tipos de interés y tipos de cambio. Para estimar el coeficiente de correlación  $\rho$  que se establece entre las dos, se calcula para cada fecha:

$$\rho_t = \frac{\sigma_{\Delta r_t, \text{Ret}}}{\sigma_{\Delta r_t} \sigma_{\text{Re}_t}}$$

El numerador es la covarianza condicional las variaciones de los tipos de interés y los tipos de cambio estimada en  $t-1$  para  $t$  y el denominador es el producto de las volatilidades condicionales estimados en  $t-1$  para la fecha  $t$ .

Cuando las pérdidas se estiman en base al VaR EWMA las volatilidades para calcular el coeficiente de correlación son las que se estiman con el modelo EWMA. Cuando se estiman las pérdidas con los modelos VaR GARCH, el denominados del coeficiente de correlación es el producto de las volatilidades GARCH.

## 5.2 Cálculo de la variación de la cartera de bonos considerando la variación del tipo de interés

El análisis del comportamiento de los modelos de riesgo se lleva a cabo comparando la variación de los precios de los bonos expresados en euros con las pérdidas máximas estimadas con los modelos.

Sea  $V = NPe$  el valor de la cartera de bonos expresados en euros al tipo de cambio contado EUR/USD llamado y  $\Delta V$  la variación diaria de la cartera expresada en dólares y en función de la variación del tipo de interés:

$$\Delta V = V_{t+1} - V_t = -S\Delta r = -S(r_{t+1} - r_t)$$

La variación de la cartera, expresada en euros es función del tipo de interés contado  $e_t$  de su variación diaria y de la variación diaria del tipo de cambio:

$$\begin{aligned}\Delta V_e &= (\Delta Pe + P\Delta e) = -SPe\Delta r + P\Delta e = \\ &= -SPe_t(r_{t+1} - r_t) + P(e_{t+1} - e_t)\end{aligned}$$

Si se expresa el segundo término en función de la variación relativa del tipo de cambio, se obtiene:

$$\begin{aligned}\Delta V_e &= -SPe_t(r_{t+1} - r_t) + Pe_t\left(\frac{e_{t+1} - e_t}{e_t}\right) \\ &= Pe_t\left(-S(r_{t+1} - r_t) + \frac{e_{t+1} - e_t}{e_t}\right)\end{aligned}$$

De manera similar, la variación a 10 días se calcula como:

$$\Delta V_e = -SPe_t(r_{t+10} - r_t) + Pe_t\left(\frac{e_{t+10} - e_t}{e_t}\right)$$

Los tipos de cambio y los tipos de interés son datos conocidos y la sensibilidad ha sido calculada, según se ha expuesto en el en Capítulo 4.

A continuación, se presentan por separado:

- Los resultados de los modelos  $VaR_e$ , en las dos variantes GARCH y EWMA, que miden el riesgo derivado de la variación del tipo de cambio EUR/USD para una cartera de activos de valor 100 millones USD (el importe equivalente al precio diario de las dos carteras de bonos analizadas), cuyo valor se mantiene fijo en dólares.

- Los resultados de los modelos  $\text{VaR}_{\Delta V}(\alpha)$  que incorporan las dos fuentes de riesgo, el tipo de interés y el tipo de cambio

## 5.3 VaR tipo de cambio

### 5.3.1 VaR EWMA de tipo de cambio

Consideramos el valor en dólares equivalente a la cartera de bonos **NP**, que se mantiene fijo a lo largo del periodo analizado, en 100 millones USD. Dicho importe se convierte en euros al tipo de cambio contado diario EUR/USD entre las fechas 03/01/2000 y 25/02/2014. Se calcula la volatilidad condicional según el modelo EWMA de la variación relativa del tipo de cambio multiplicada por el importe en dólares **NP**. Dicha volatilidad se empleará en el modelo VaR.

La variación relativa de **NP** en euros es:

$$\frac{\Delta \text{NP}_e}{\text{NP}_e} = \text{NP} \left( \frac{e_{t+1} - e_t}{e_t} \right).$$

El modelo VaR se ha expresado como (apartado 5.1):

$$\text{VaR}_e(\alpha) = k(\alpha) \text{NP}_e \sigma_{\frac{\Delta e}{e}} \sqrt{h}$$

A continuación, se empleará la notación  $\frac{\Delta e}{e} = \text{Re}$ .

Para el cálculo de la volatilidad<sup>52</sup> se supone que **Re** sigue una distribución normal condicional de media cero y varianza  $\sigma_{\text{Re}_t}^2$

$$\text{Re}_t \sim N(0, \sigma_{\text{Re}_t}^2)$$

$$\sigma_{\text{Re}_t}^2 = 0,06 \times \text{Re}_t^2 + 0,94 \times \sigma_{\text{Re}_{t-1}}^2$$

---

<sup>52</sup> El gráfico de las volatilidades condicionales calculados con el modelo EWMA y GARCH se muestran en el Anexo 21.



A continuación, se presentan conjuntamente las frecuencias de excesos y el resultado del test de contraste de Kupiec<sup>53</sup>. La ocurrencia de un exceso está dada por las variaciones del importe **NP** expresado en euros,  $\Delta \text{NP}e$ , mayores que el VaR calculado para cada fecha.

La variación a 1 día se calcula como:  $\Delta \text{NP}e = \text{NP}(e_{t+1} - e_t)$

Y la variación a 10 días:  $\Delta \text{NP}e = \text{NP}(e_{t+10} - e_t)$

Las variaciones diarias se comparan con el VaR calculado en  $t$  para  $t+1$  y las variaciones a 10 días, con el VaR calculado en  $t$  para  $t+10$ .

Para ambos periodos en los que se ha dividido la muestra a efectos de analizar los resultados de los test de contraste, 2000-2006 y 2007-2014, las frecuencias de excesos registradas permiten no rechazar la hipótesis nula del test de Kupiec para la práctica totalidad de los modelos. La excepción es el modelo estimado al 99% y 1 día de horizonte, donde los excesos se sitúan en torno al 2% (Tabla 5.2). En el resto de los casos la ratio entre el número de excesos y el número total de observaciones se sitúa en valores próximos a los esperados en función de cada nivel de confianza.

Como en los capítulos anteriores, la probabilidad mínima para no rechazar la hipótesis nula es del 1%. Los valores críticos al 1%, 2,5% y 5% son los de la Tabla.

Tabla 5.1 Valores críticos  $\chi^2_1$

$\alpha$	0,01	0,02 5	0,05
$k(\alpha)$	6,63 5	5,02 4	3,841

En las Tablas 5.2-5.5 se muestran los resultados obtenidos con los modelos VaR EWMA para el tipo de cambio.

---

<sup>53</sup> Las frecuencias y razones de verosimilitud del test estadístico para el periodo 2000-2014, tanto para los modelos VaR EWMA como VaR GARCH, se muestran en el Anexo 22.

Tabla 5.2 Contraste Kupiec tipo de cambio 2000-2006

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	102	1824	35
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,59%	1%	1,92%
RV	1,299	RV	12,257

Tabla 5.3 Contraste Kupiec tipo de cambio 2000-2006

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	101	1815	22
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,56%	1%	1,21%
RV	1,177	RV	0,773

Tabla 5.4 Contraste Kupiec tipo de cambio 2007-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1867	85	1867	28
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,55%	1%	0,76%
RV	0,809	RV	4,083

Tabla 5.5 Contraste Kupiec tipo de cambio 2007-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	101	1857	28
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,44%	1%	1,51%
RV	0,733	RV	4,185

Los valores diarios de VaR a los dos horizontes y niveles de confianza se presentan en los Gráficos 5.1-5.4, para el periodo 2000-2014.

Gráfico 5.1 Variación 1 día y VaR EWMA 95% 1 día EUR/USD

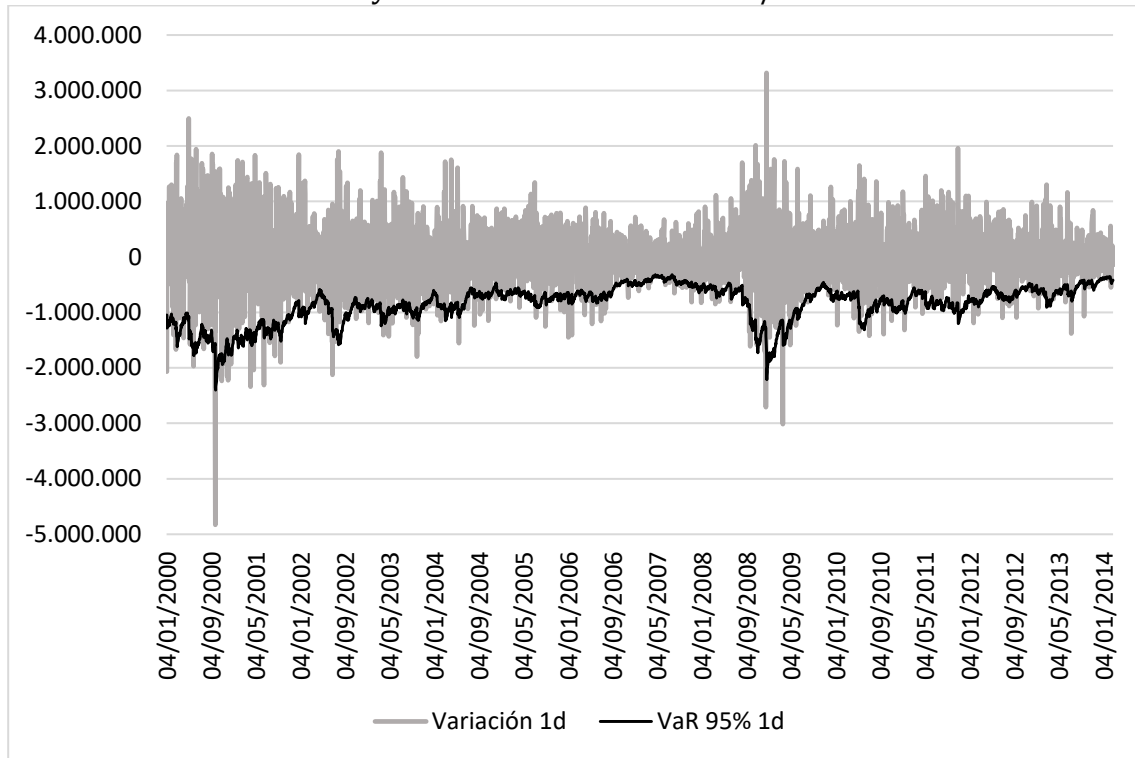


Gráfico 5.2 Variación 1 día y VaR EWMA 99% 1 día EUR/USD

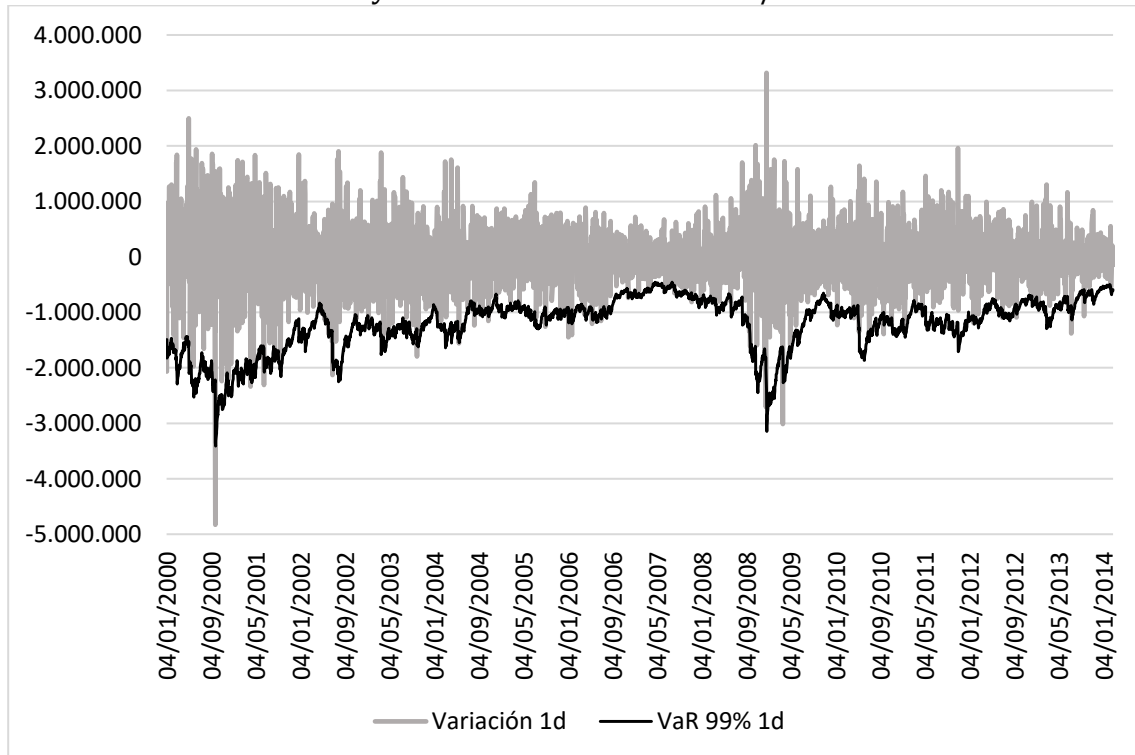


Gráfico 5.3 Variación 1 día y VaR EWMA 95% 10 días EUR/USD

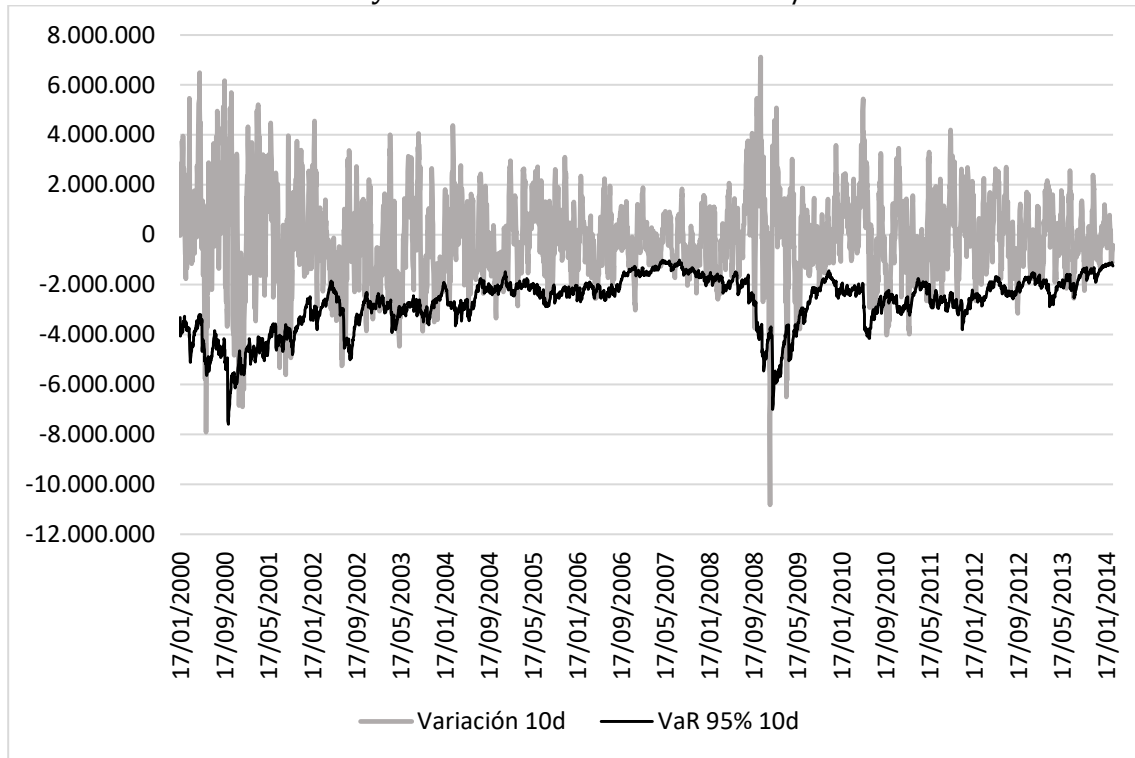
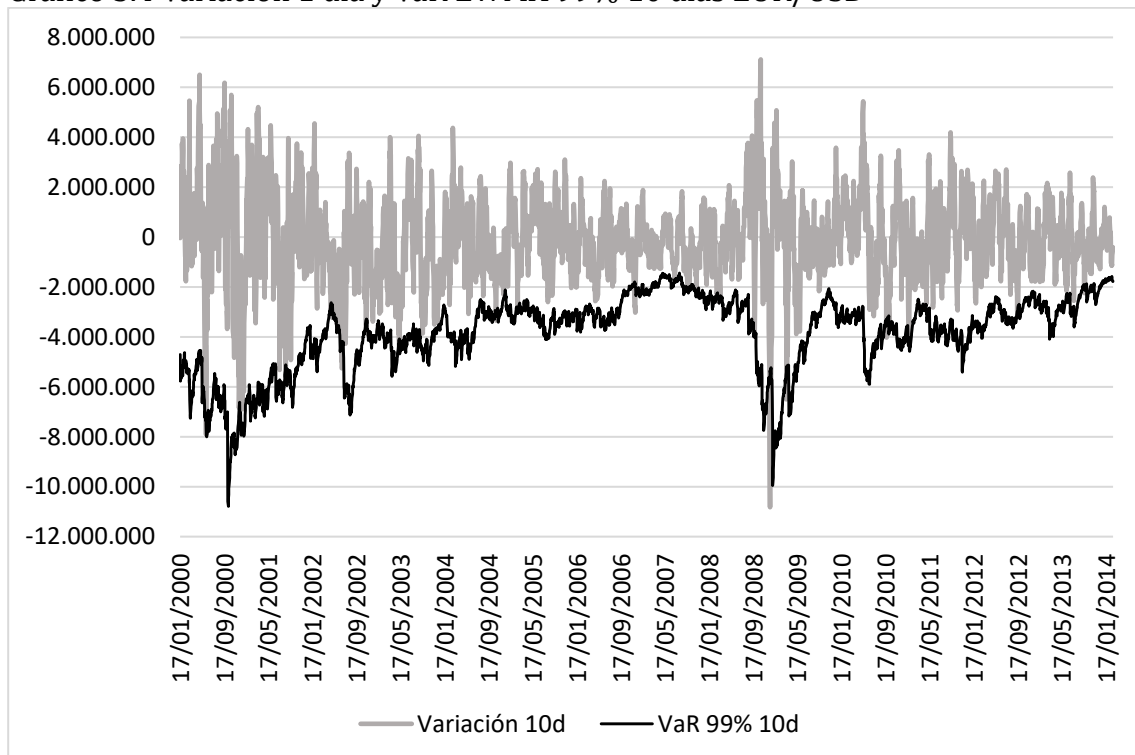


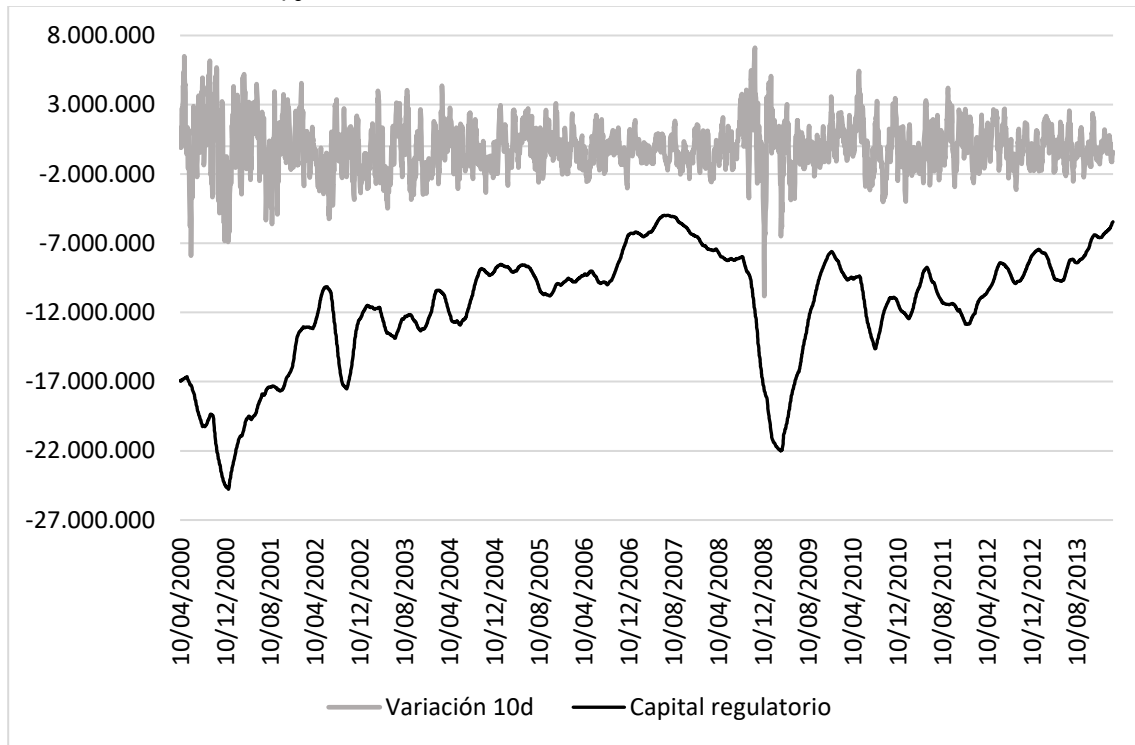
Gráfico 5.4 Variación 1 día y VaR EWMA 99% 10 días EUR/USD



### 5.3.2 Capital regulatorio en base al VaR EWMA

El capital calculado en base al VaR EWMA para la cartera de USD expresada en euros al tipo de cambio diario es siempre superior a las pérdidas a 10 días.

Gráfico 5.5 Variación del tipo de cambio EUR/USD a 10 días y capital regulatorio basado en el VaR EWMA 99% 10 días



### 5.3.3 VaR GARCH de tipo de cambio

El cálculo de la volatilidad condicional de las variaciones relativas del tipo de cambio EUR/USD se lleva a cabo en base a un modelo GARCH(1,1). El modelo se expone a continuación, empleando las notaciones habituales<sup>54</sup>.

$$Re_t = \varepsilon_t \quad \varepsilon_t / \sigma_{Re_t} \sim N(0, 1)$$

$$\sigma_{Re_t}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_t^2 + \beta \sigma_{Re_{t-1}}^2$$

Los coeficientes estimados se muestran en la Tabla 5.6. Todos los parámetros resultan significativos con una probabilidad inferior al 5%.

<sup>54</sup> Ver Anexo 20 para los resultados de las estimaciones.

Tabla 5.6 Parámetros estimados para el cálculo de la volatilidad

	EUR/USD
$\hat{\alpha}_0$	2,15E-07
$\hat{\alpha}_1$	0,0270
$\hat{\beta}$	0,9668

Las frecuencias de los excesos y resultados del test de Kupiec se muestran a continuación en las Tablas 5.7-5.10 para los periodos 2000-2006 y 2007-2014. No se rechaza la hipótesis nula en ninguno de los modelos de los dos periodos.

Tabla 5.7 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día EUR/USD 2000-2006

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	89	1824	26
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,88%	1%	1,43%
RV	0,056	RV	2,946

Tabla 5.8 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días EUR/USD 2000-2006

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	96	1815	12
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,29%	1%	0,66%
RV	0,314	RV	2,391

Tabla 5.9 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día EUR/USD 2007-2014

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1867	73	1867	25
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,91%	1%	0,68%
RV	5,032	RV	1,960

Tabla 5.10 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días EUR/USD 2007-2014

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	83	1857	20
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,47%	1%	1,08%
RV	1,1389	RV	0,1085

La evolución diaria de los VaR a los dos horizontes y niveles de confianza se muestra en los Gráficos 5.6-5.9 para todo el periodo 2000 – 2014.

Gráfico 5.6 Variación 1 día y VaR GARCH 95% 1 día EUR/USD

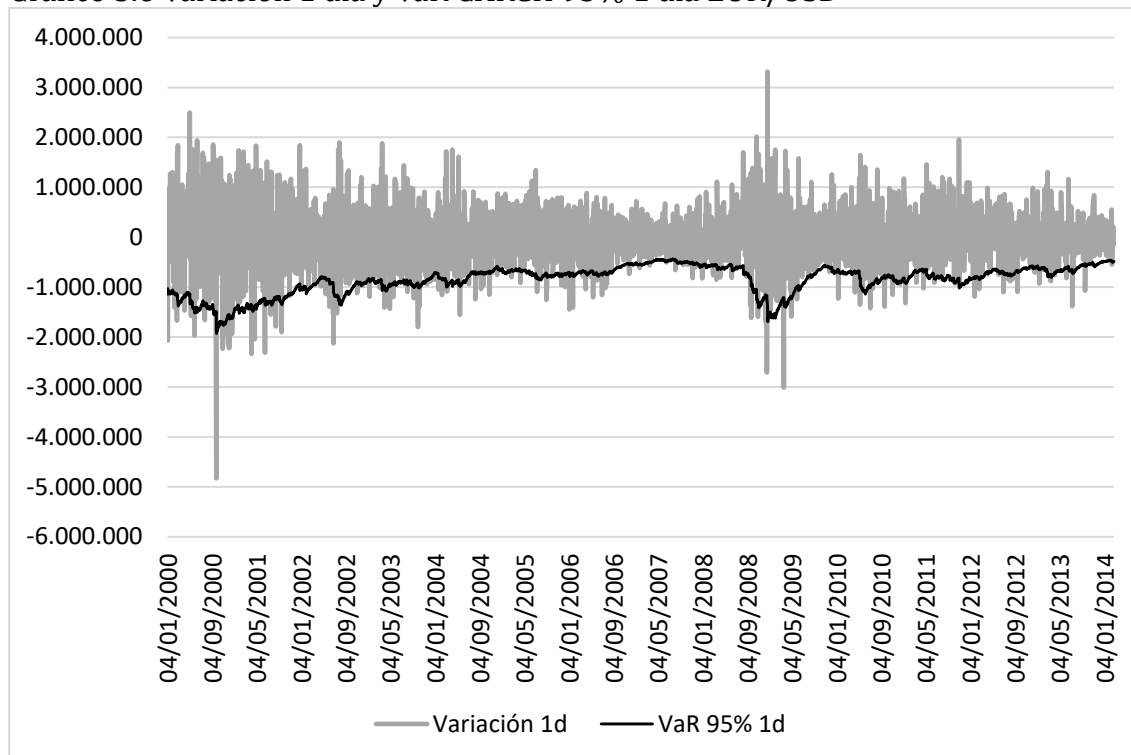


Gráfico 5.7 Variación 1 día y VaR GARCH 99% 1 día EUR/USD

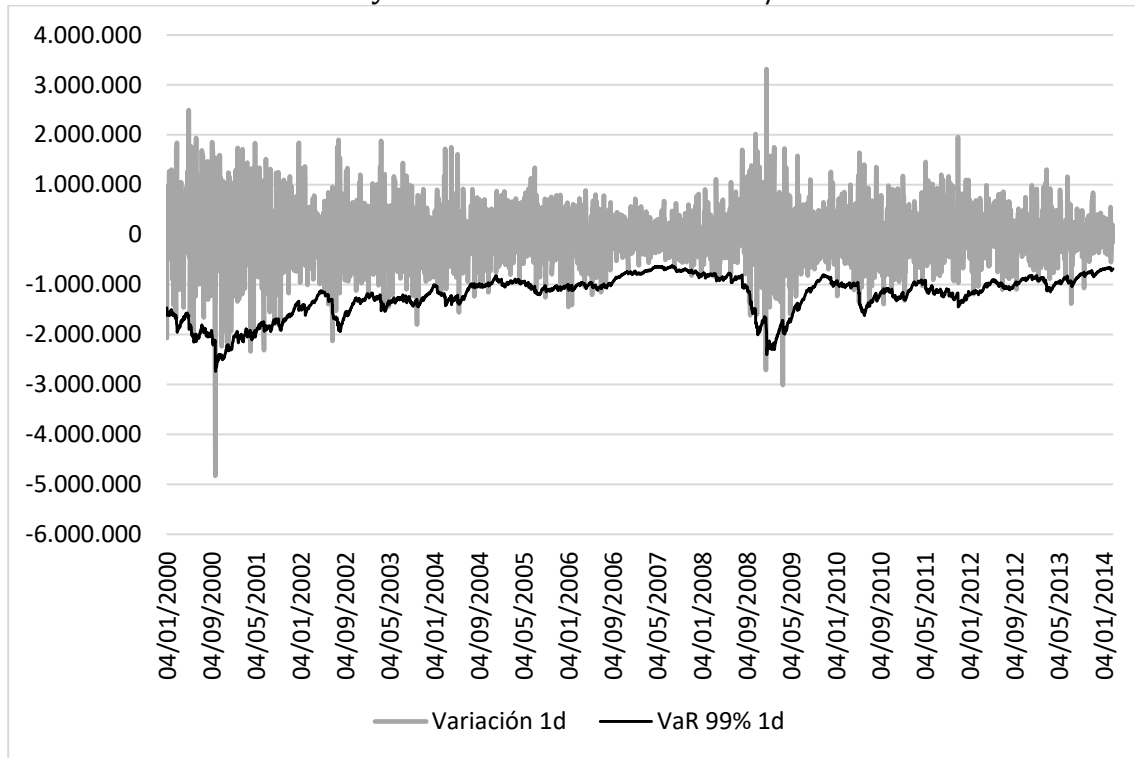


Gráfico 5.8 Variación 10 días y VaR GARCH 95% 10 días EUR/USD

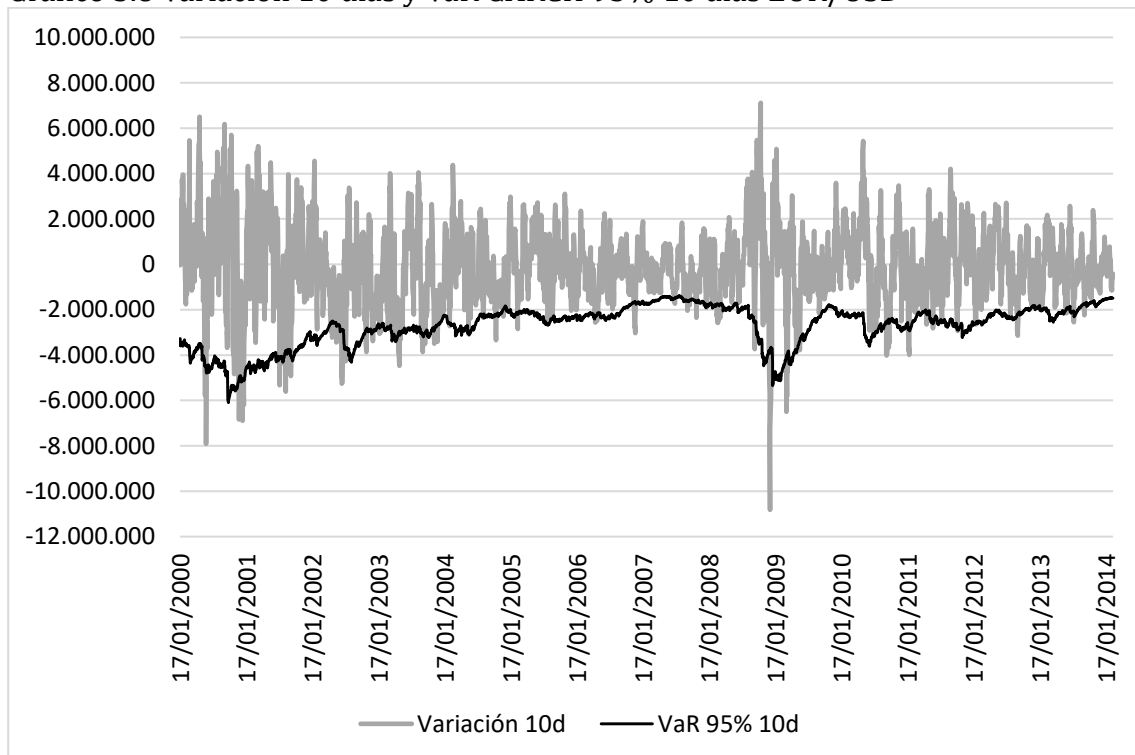
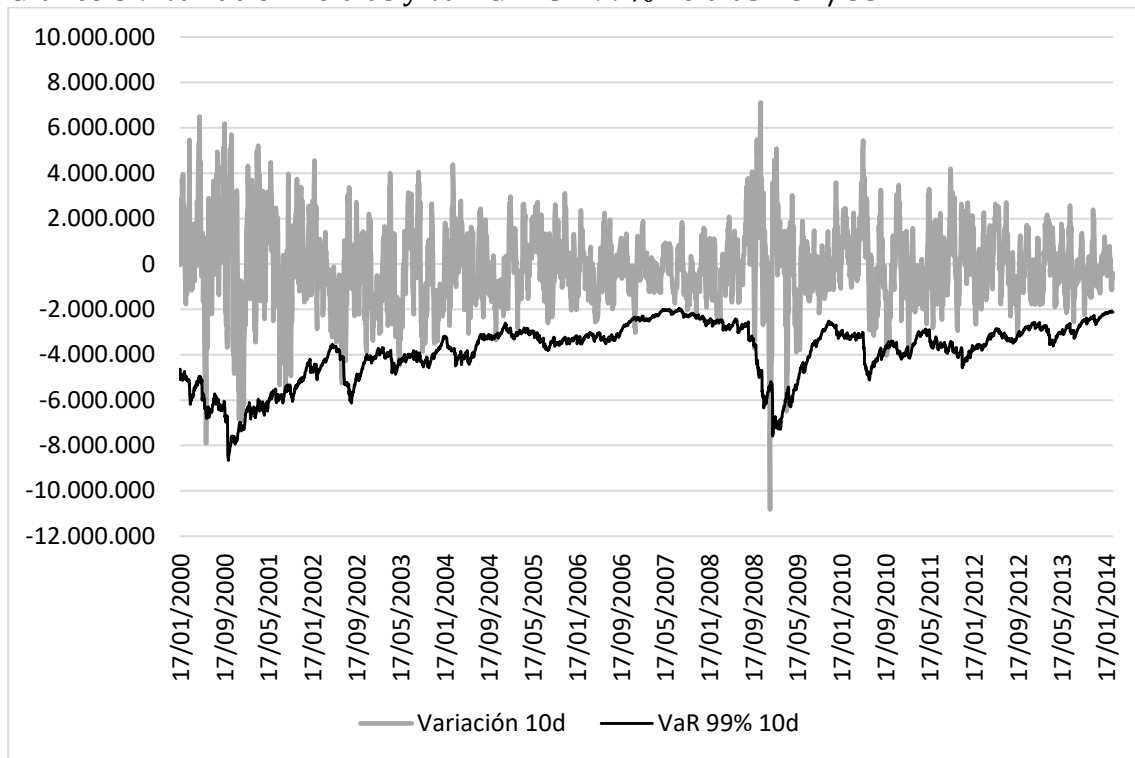




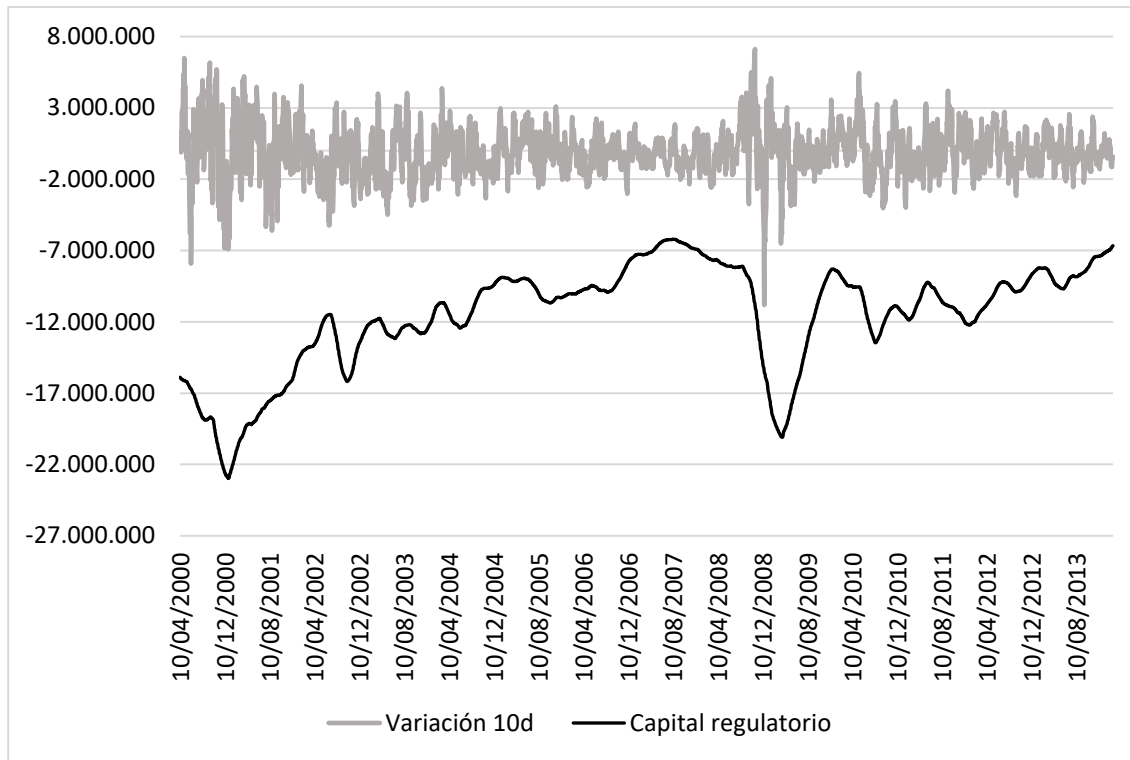
Gráfico 5.9 Variación 10 días y VaR GARCH 99% 10 días EUR/USD



### 5.3.4 Capital regulatorio en base al VaR GARCH

En base al VaR GARCH al 99% y 10 días de horizonte se calcula el capital regulatorio para la cartera de USD expresados en función del tipo de cambio diario EUR/USD, siguiendo el procedimiento habitual. Según se muestra en el Gráfico 5.10 el capital mínimo regulatorio es superior en todo momento a las pérdidas a 10 días.

Gráfico 5.10 Variación del tipo de cambio EUR/USD a 10 días y capital regulatorio basado en el VaR GARCH 99% 10 días



## 5.4 VaR de las carteras incorporando tipos de cambio

### 5.4.1 VaR EWMA de los bonos del tesoro en euros

Se muestran a continuación las frecuencias de excesos y los resultados del test de Kupiec. En 2000-2006 las frecuencias registradas rondan el 5% en los modelos VaR EWMA al 95%, lo que permite no rechazar la nula del test de Kupiec al 5%. Tampoco se rechaza la nula en los modelos al 99%, al 5% en el caso del modelo a 1 día y al 1% para el horizonte de 10 días. Las frecuencias y valores de la RV se presentan en las Tablas 5.11-5.14<sup>55</sup>.

<sup>55</sup> Las frecuencias computadas para el periodo 2000-2014 se muestran en el Anexo 24.

Tabla 5.11 Contraste Kupiec VaR EWMA 1 día bonos Tesoro EUR 2000-06

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	103	1824	30
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,65%	1%	1,64%
RV	1,545	RV	6,412

Tabla 5.12 Contraste Kupiec VaR EWMA 10 días bonos Tesoro EUR 2000-06

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	79	1815	13
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,35%	1%	0,72%
RV	1,672	RV	1,638

Las frecuencias de excesos en el periodo 2007-2014 son sensiblemente menores de las esperadas en los modelos calculados al 95% lo que lleva a rechazar la nula a ambos horizontes. Al 99% y 1 día los excesos están prácticamente en el 1% esperado y a 10 días la frecuencia con la que las pérdidas superan el VaR es menor que el 1%. El valor en torno al 0,4% lleva a rechazar la nula.

Tabla 5.13 Contraste Kupiec VaR EWMA 1 día bonos Tesoro EUR 2007-14

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1857	61	1857	20
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,28%	1%	1,08%
RV	13,018	RV	0,109

Tabla 5.14 Contraste Kupiec VaR EWMA 10 días bonos Tesoro EUR 2007-14

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	46	1857	8
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	2,48%	1%	0,43%
RV	30,318	RV	7,727

Los resultados obtenidos con los modelos VaR a los dos horizontes y niveles de confianza utilizados, se muestra en los Gráficos 5.11-5.14, para el periodo 2000-2014.

Gráfico 5.11 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos Tesoro 95% 1 día

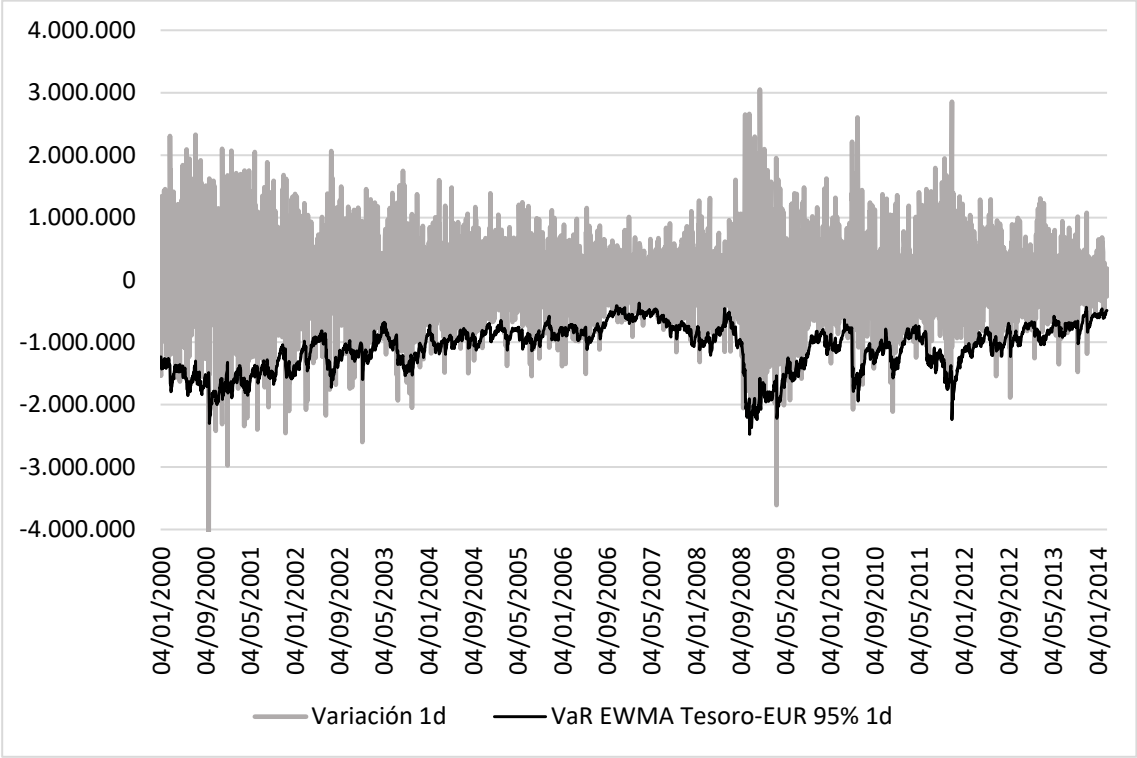


Gráfico 5.12 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos Tesoro 99% 1 día

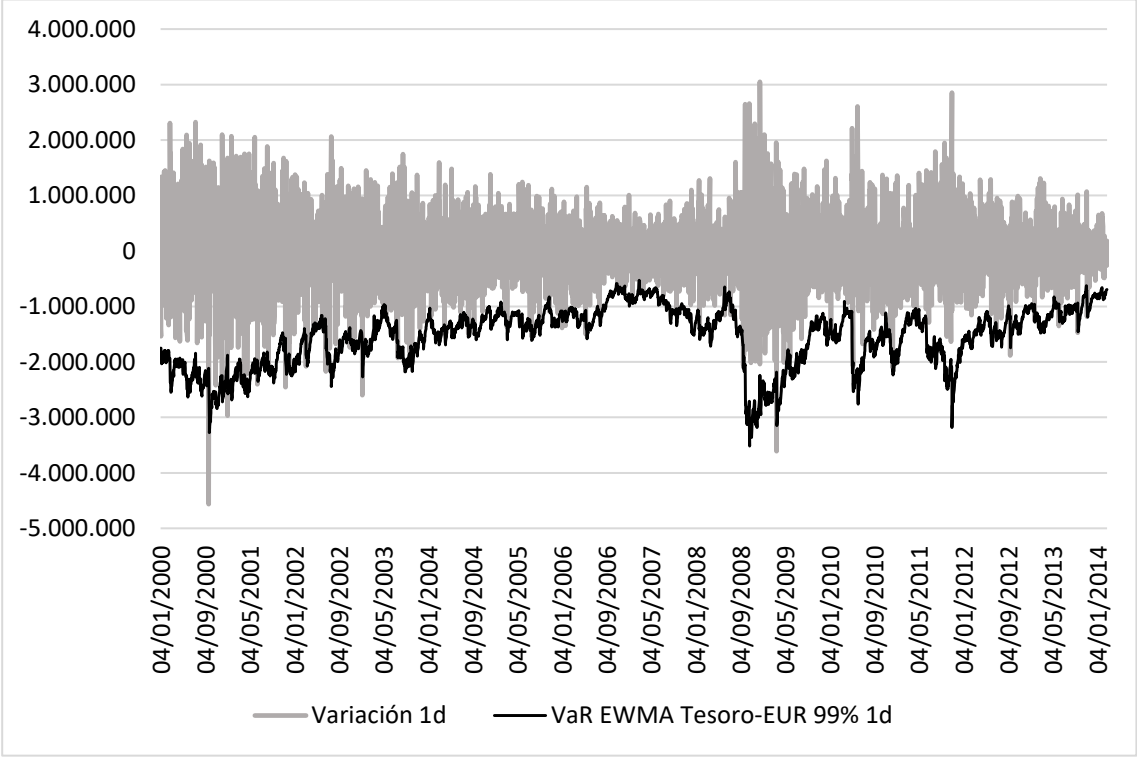


Gráfico 5.13 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos Tesoro 95% 10 días

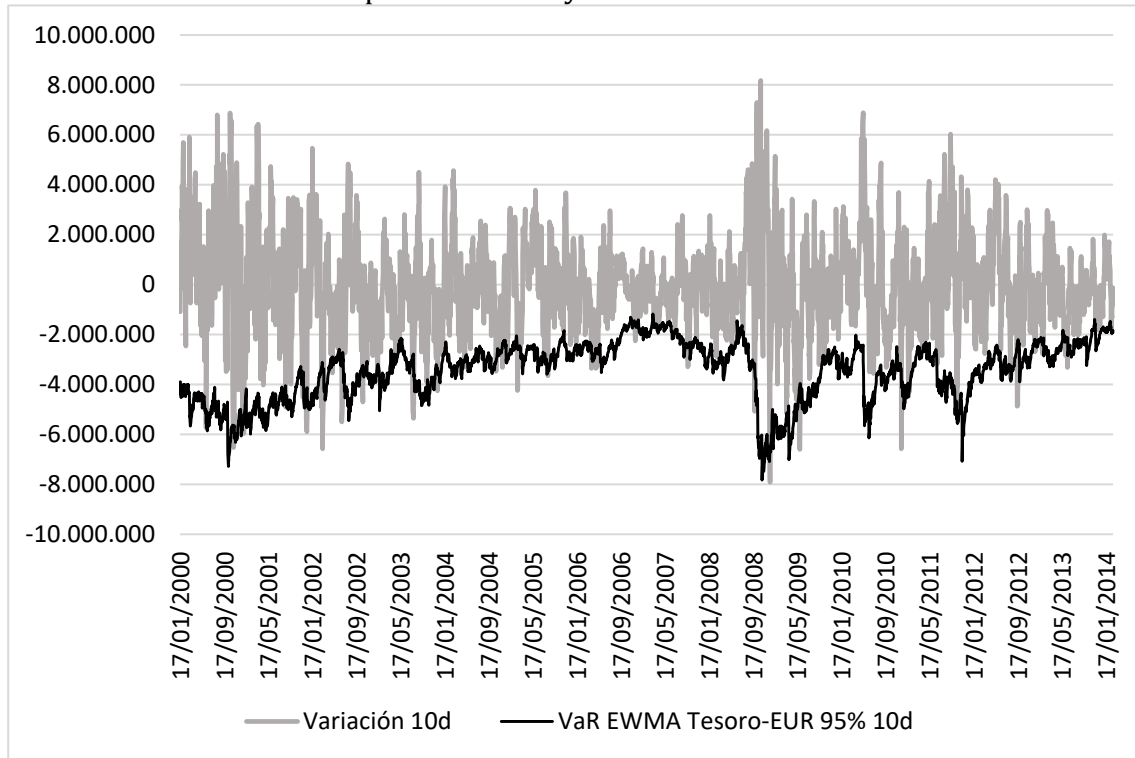
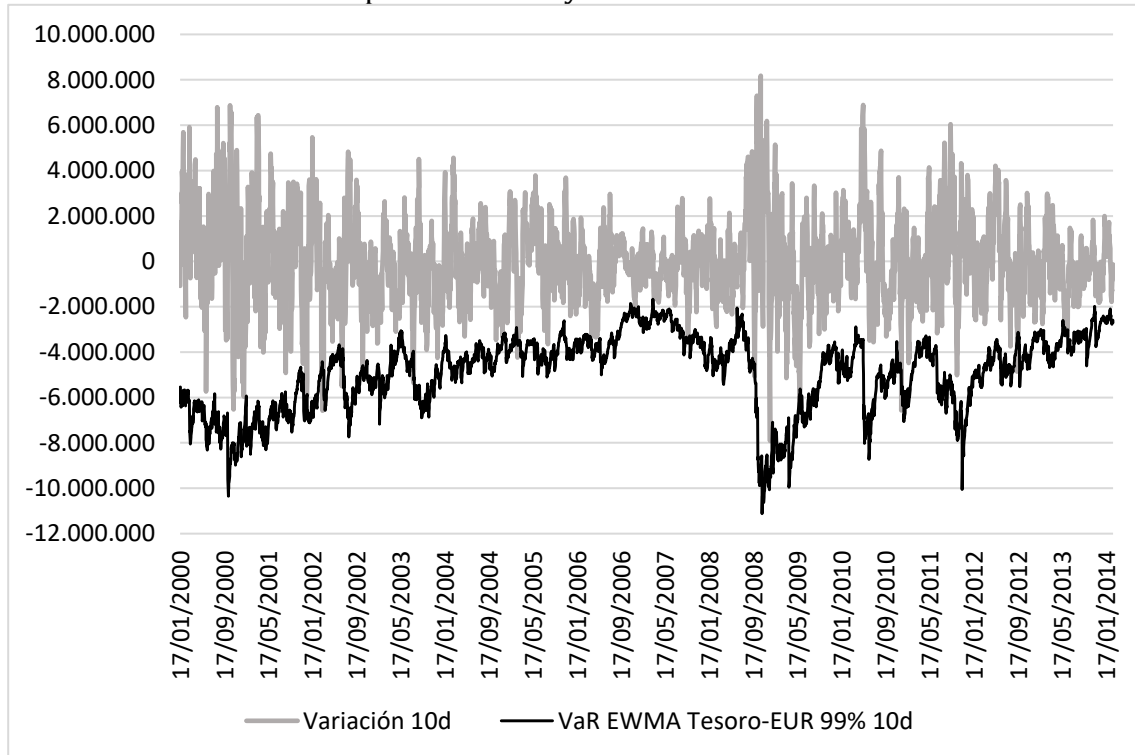


Gráfico 5.14 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos Tesoro 99% 10 días



### 5.4.2 VaR EWMA de los bonos corporativos en euros

Las frecuencias de excesos de los periodos 2000-2006 y 2007-2014 permiten no rechazar la nula en ninguno de los modelos VaR EWMA para los bonos corporativos considerando el riesgo de cambio<sup>56</sup>.

Tabla 5.15 Contraste Kupiec VaR EWMA 1 día bonos corporativos EUR 2000-06

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	103	1824	29
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,65%	1%	1,59%
RV	1,545	RV	5,438

Tabla 5.16 Contraste Kupiec VaR EWMA 10 días bonos corporativos EUR 2000-06

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	76	1815	18
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,19%	1%	0,99%
RV	2,665	RV	0,001

Tabla 5.17 Contraste Kupiec VaR EWMA 1 día bonos corporativos EUR 2007-14

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1857	78	1857	24
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,20%	1%	1,29%
RV	2,638	RV	1,468

<sup>56</sup> Los excesos y resultados del test de Kupiec para todo el periodo 2000-2014 se muestran en el Anexo 25.

Tabla 5.18 Contraste Kupiec VaR EWMA 1 día bonos corporativos EUR 2007-14

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	86	1857	22
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,63%	1%	1,18%
RV	0,545	RV	0,604

La relación entre los VaR y las variaciones diarias y a 10 días se muestran en los Gráficos 5.15-5.18

Gráfico 5.15 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos corporativos 95% 1 día

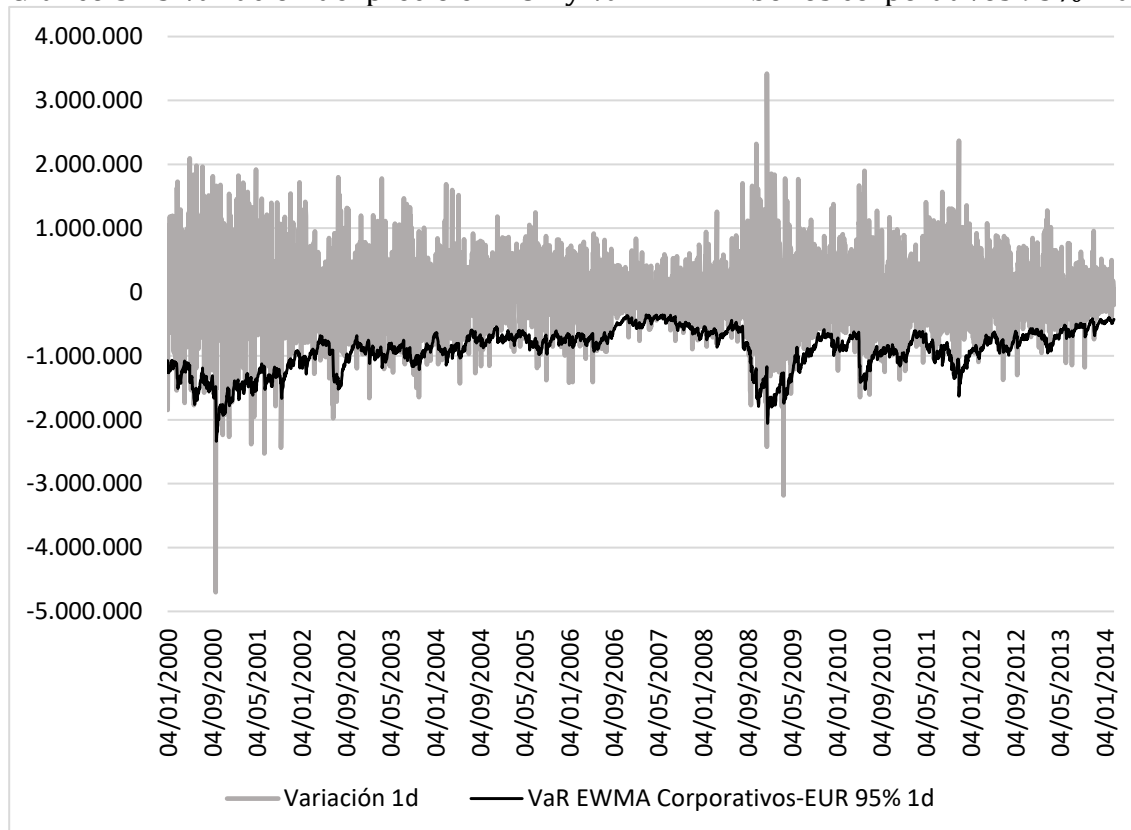


Gráfico 5.16 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos corporativos 99% 1 día

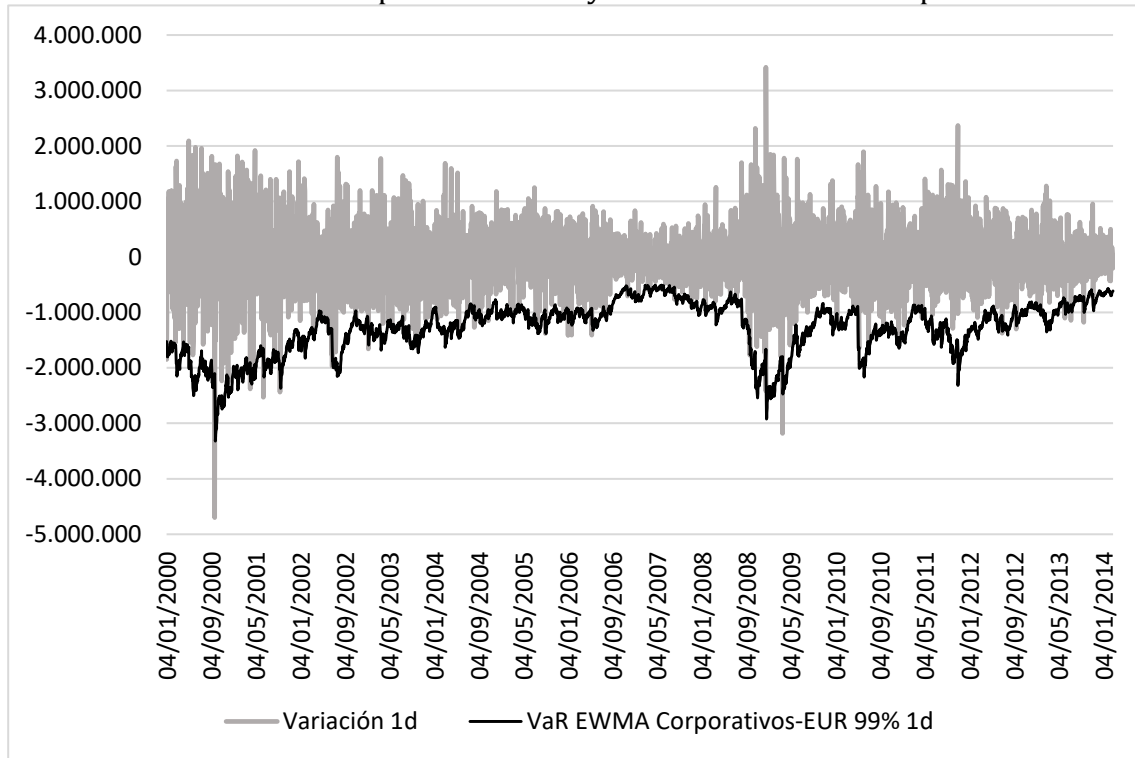


Gráfico 5.17 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos corporativos 95% 10 días

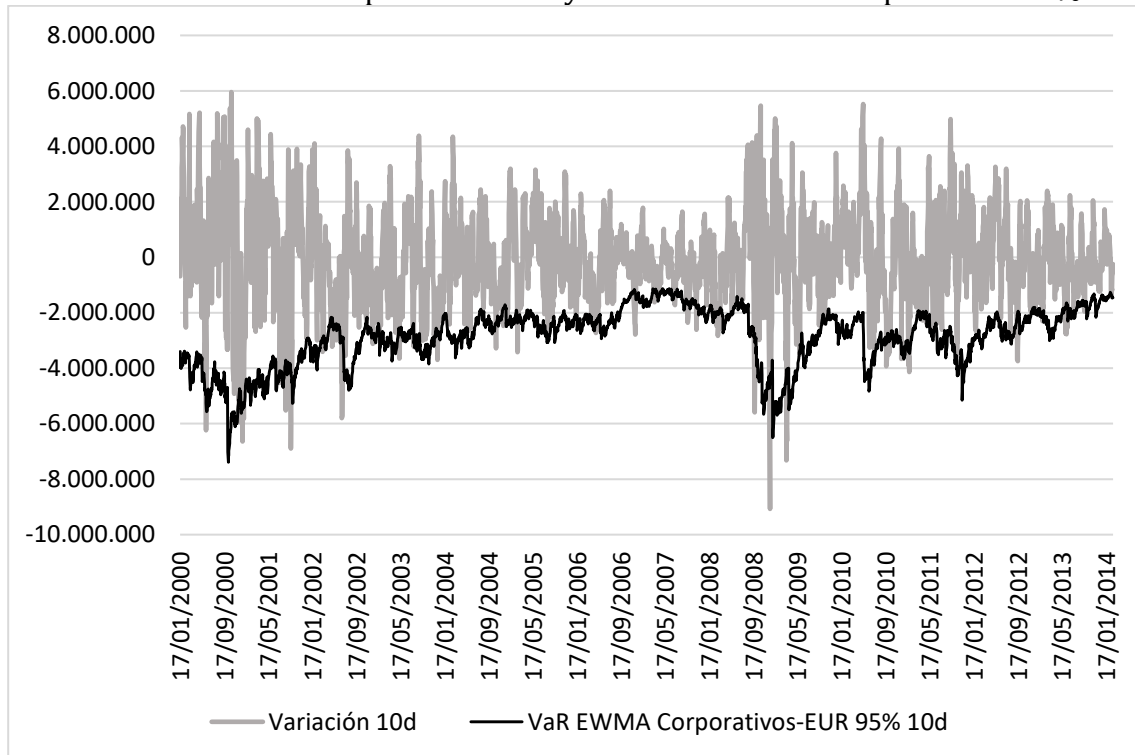
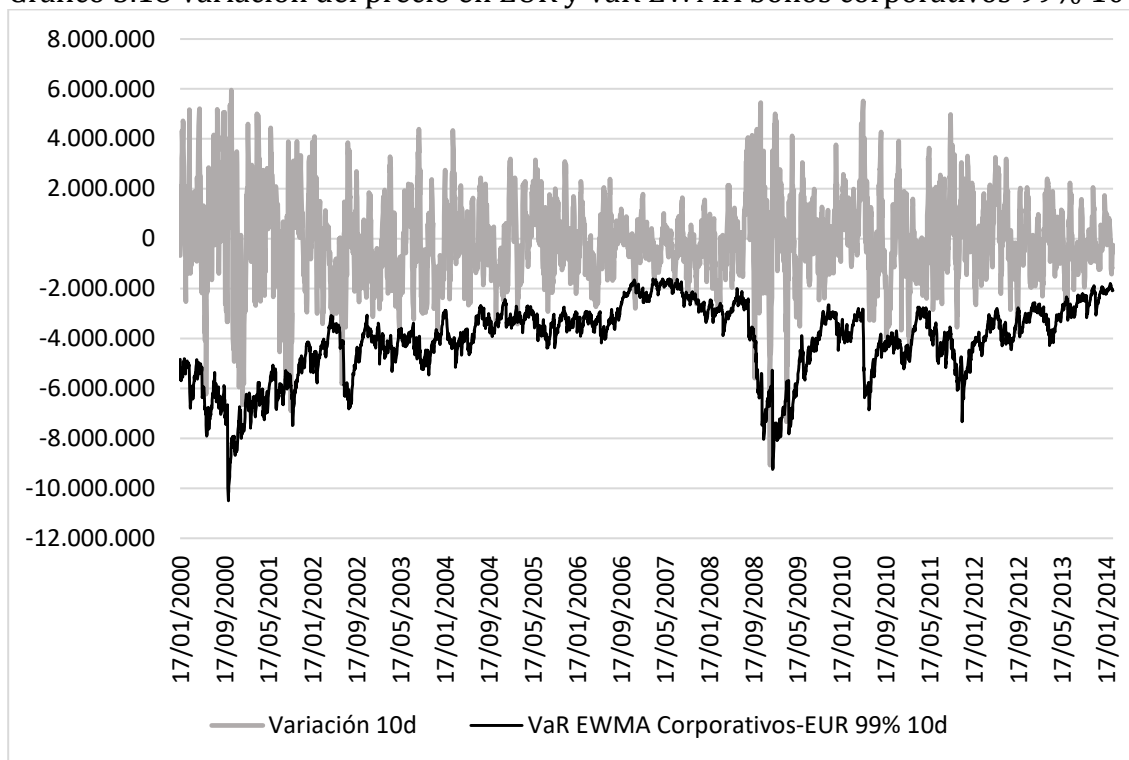




Gráfico 5.18 Variación del precio en EUR y VaR EWMA bonos corporativos 99% 10 días



### 5.4.3 Capital regulatorio en base al VaR EWMA

En los Gráficos 5.19 y 5.20 se muestra el capital regulatorio calculado para ambas carteras de bonos, incorporando el riesgo de cambio. El capital se calcula en base a los modelos VaR EWMA al nivel de confianza del 99% y 10 días de horizonte. Se observa que el capital regulatorio es en todo momento superior a las pérdidas a 10 días.

Gráfico 5.19 Variación del precio en EUR y capital regulatorio en base al VaR EWMA bonos Tesoro 99% 10 días

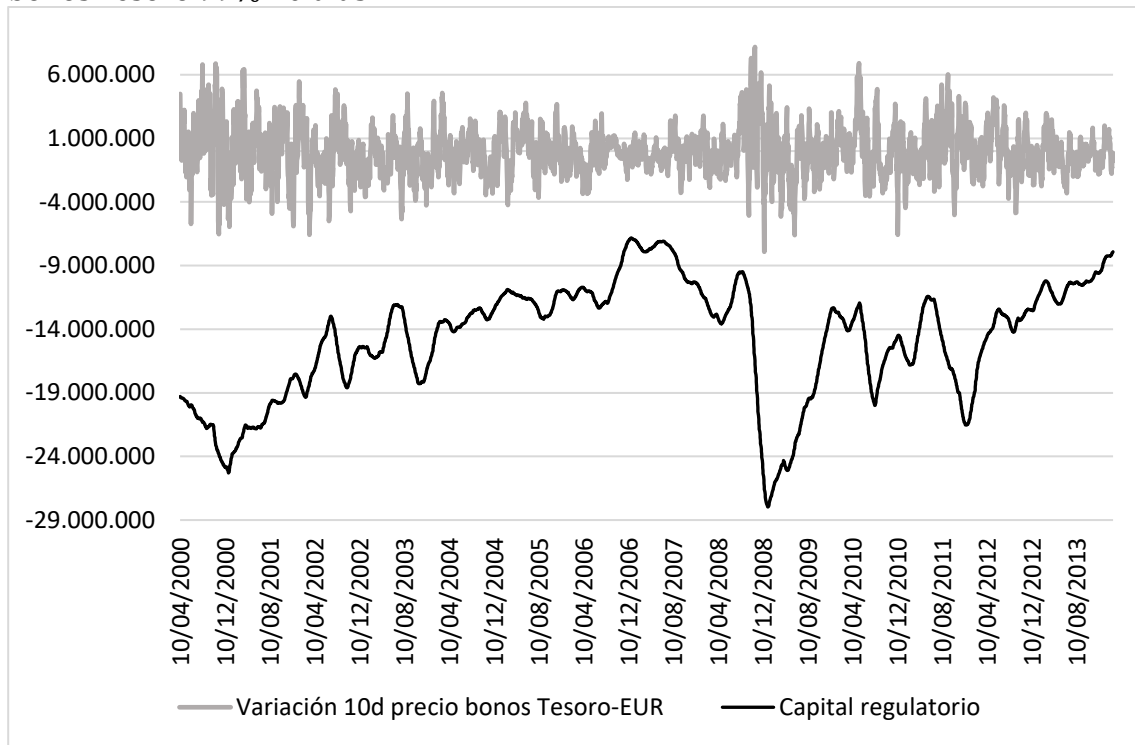
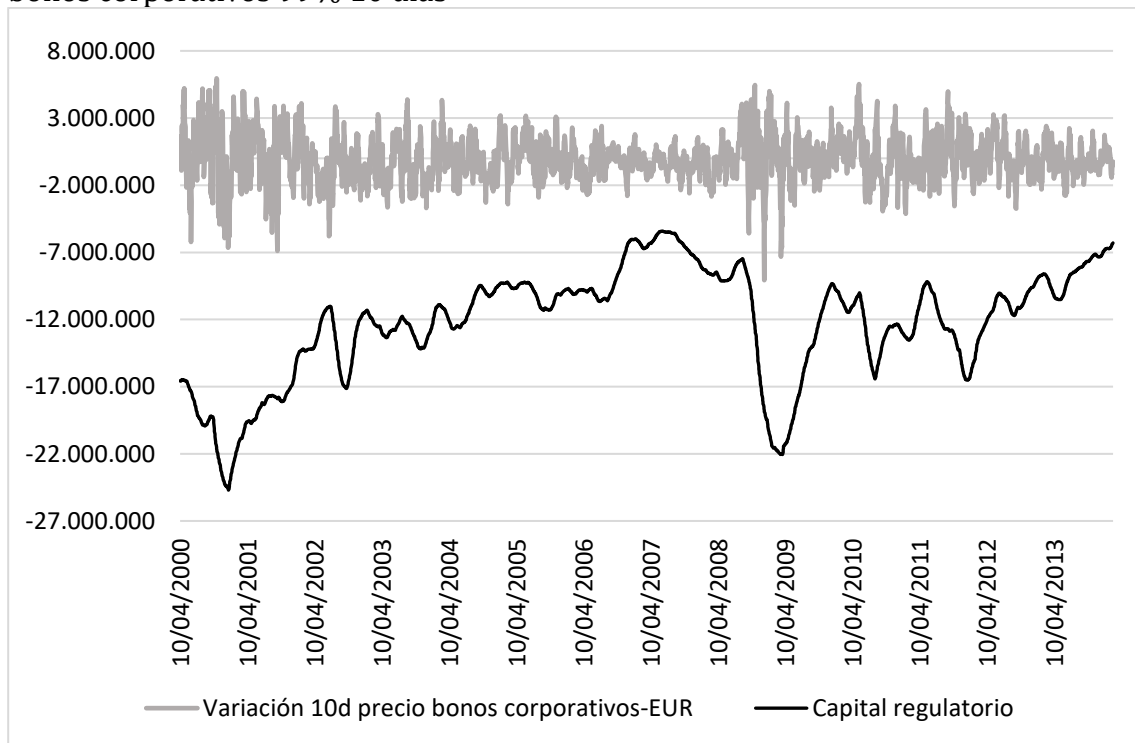


Gráfico 5.20 Variación del precio en EUR y capital regulatorio en base al VaR EWMA bonos corporativos 99% 10 días



#### 5.4.4 VaR GARCH de los bonos del tesoro en euros

Los resultados obtenidos con los modelos VaR GARCH al 95% entre 2000-2006 reflejan un número de excesos próximo al 5% en el modelo a 1 día y cercano al 4% en el modelo a 10 días. El modelo al 99% registra las frecuencias más altas, de un 1,7% y se rechaza la nula. Al 99% y 10 días, las frecuencias son del 0,66% y no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 5.19 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos Tesoro EUR 2000-06

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	105	1824	31
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,76%	1%	1,70%
RV	2,100	RV	7,453

Tabla 5.20 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos Tesoro EUR 2000-06

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	72	1815	12
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,97%	1%	0,66%
RV	4,375	RV	2,391

En el periodo 2007-2014 se rechaza la nula por déficit de excesos en tres de los modelos: los dos calculados al 95% y al 99% y 10 días. Al 99% y un día los excesos están en el 1%.

Tabla 5.21 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos Tesoro EUR 2007-14

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1857	63	1857	19
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,39%	1%	1,02%
RV	11,333	RV	0,010

Tabla 5.22 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos Tesoro EUR 2007-14

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	40	1857	7
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	2,15%	1%	0,38%
RV	39,899	RV	9,554

Las variaciones de la cartera y los VaR GARCH para el periodo 2000-2014 se muestran a continuación en los Gráficos 5.21-5.24.

Gráfico 5.21 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos Tesoro 95% 1 día

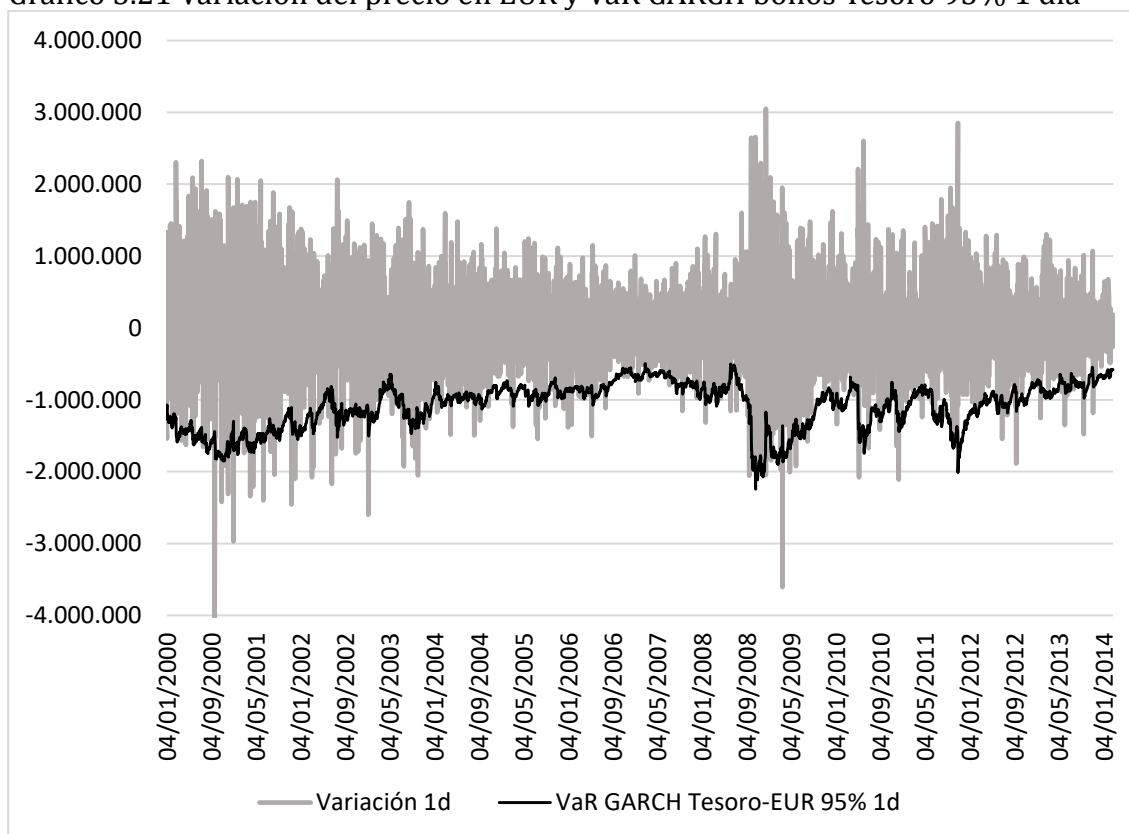


Gráfico 5.22 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos Tesoro 99% 1 día

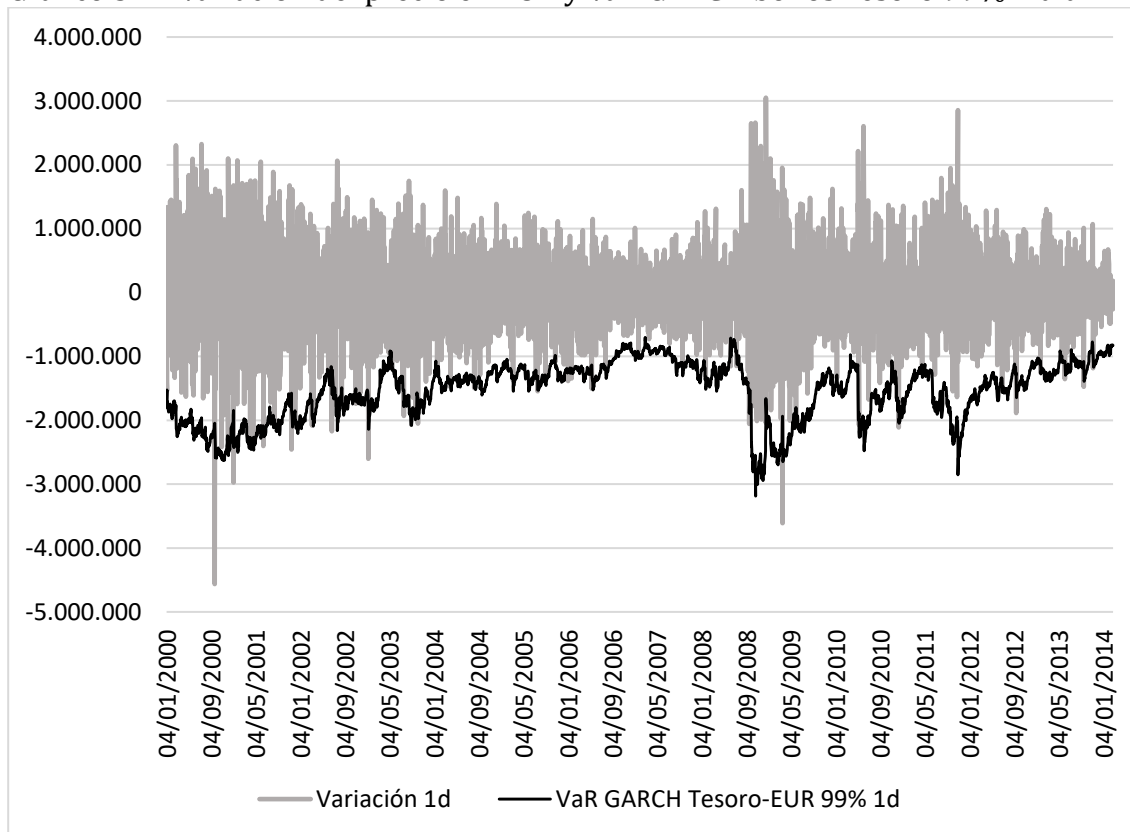


Gráfico 5.23 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos Tesoro 95% 10 días

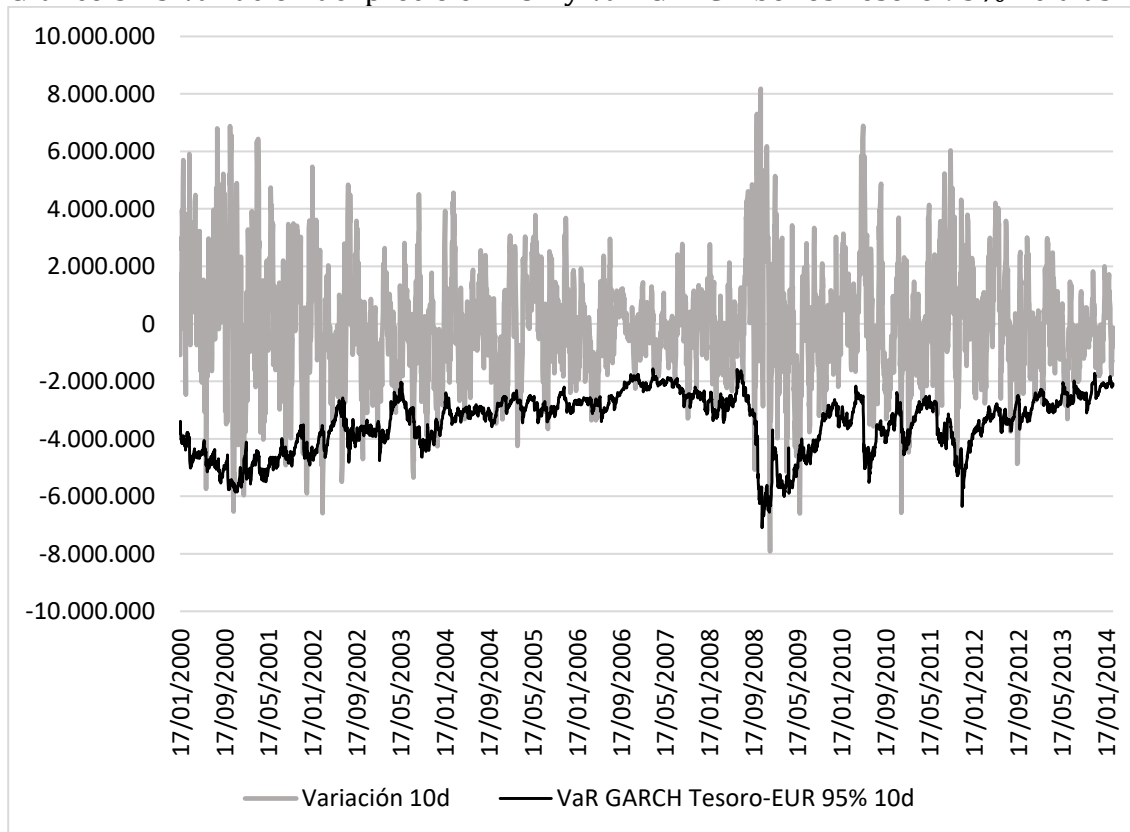
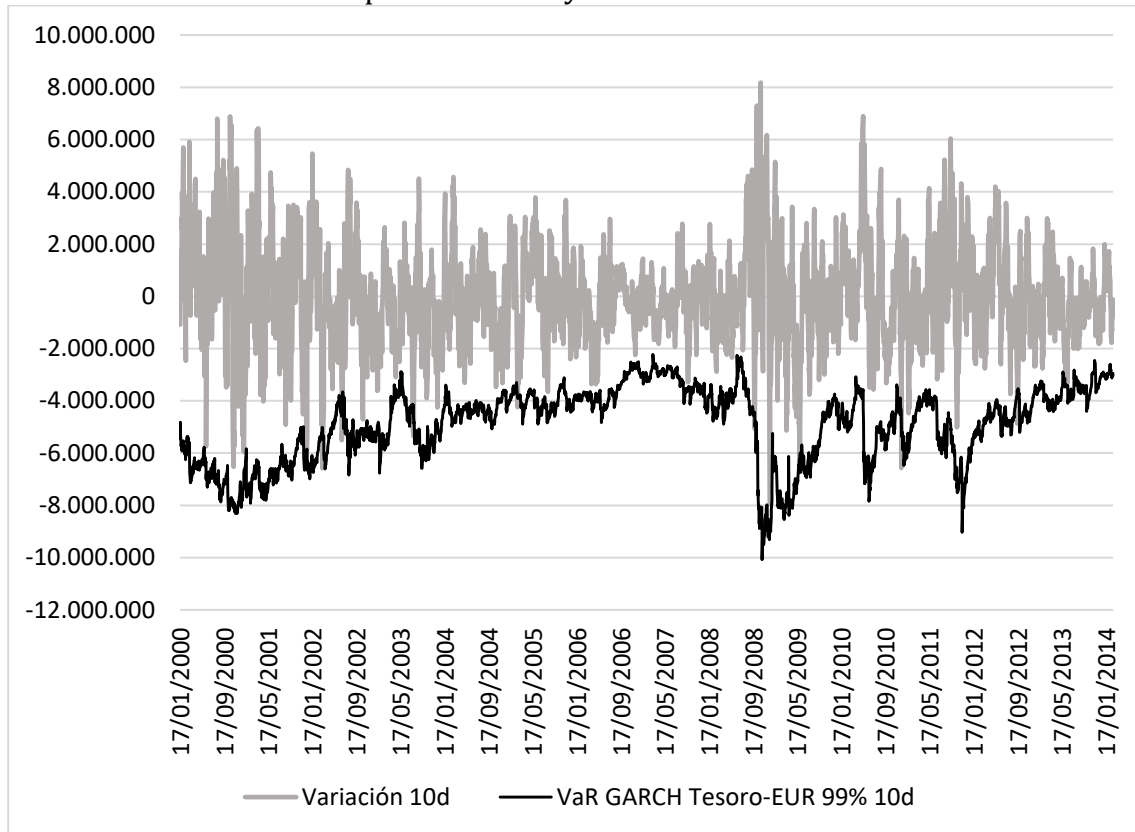


Gráfico 5.24 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos Tesoro 99% 10 días



### 5.4.5 VaR GARCH de los bonos corporativos en euros

En los periodos 2000-2006 y 2007-2014 las frecuencias de excesos permiten no rechazar la nula para prácticamente todos los modelos analizados. La excepción es el modelo al 95% y un día que en el periodo 2000-2006 registra un número menor de excesos que el esperado, un 3, 64%.

Tabla 5.23 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos corporativos EUR 2000-06

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2006
1824	102	1824	30
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,59%	1%	1,64%
RV	1,299	RV	6,412

Tabla 5.24 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos corporativos EUR 2000-06

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2006
1815	66	1815	10
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,64%	1%	0,55%
RV	7,818	RV	4,415

Tabla 5.25 Contraste Kupiec VaR GARCH 1 día bonos corporativos EUR 2007-14

Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2007-2014
1857	78	1857	17
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,20%	1%	0,92%
RV	2,638	RV	0,138

Tabla 5.26 Contraste Kupiec VaR GARCH 10 días bonos corporativos EUR 2007-14

Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2007-2014
1857	77	1857	14
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,15%	1%	0,75%
RV	3,016	RV	1,242

Las pérdidas estimadas con los modelos VaR GARCH y las variaciones de los precios de los bonos corporativos expresados en euros se muestran en los Gráficos 5.25-5.28.

Gráfico 5.25 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos corporativos 95% 1 día

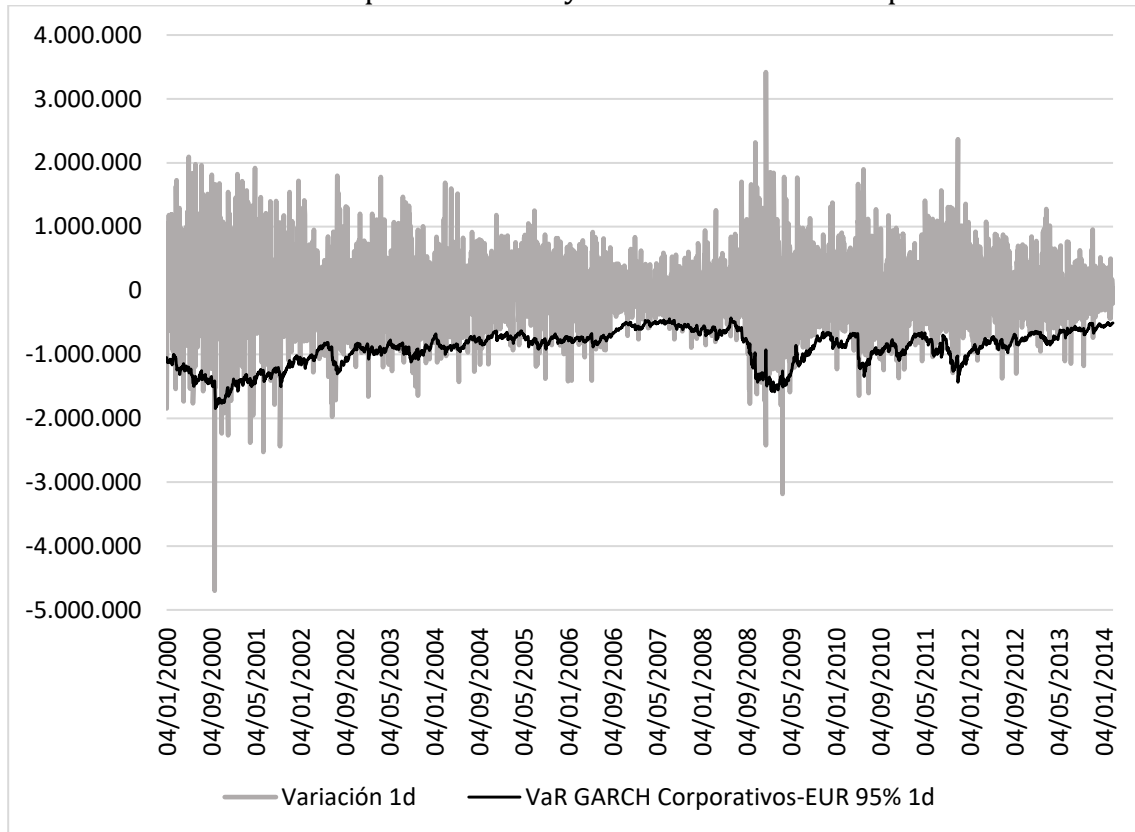


Gráfico 5.26 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos corporativos 99% 1 día

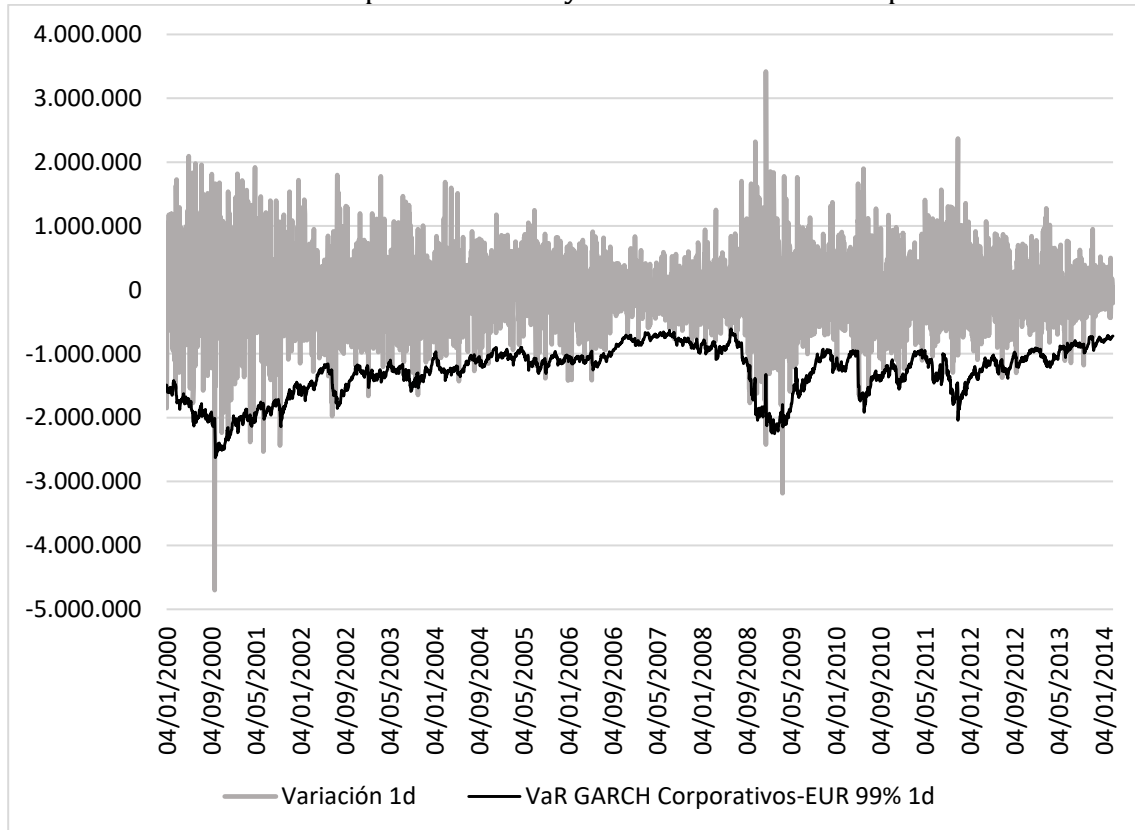




Gráfico 5.27 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos corporativos 95% 10 días

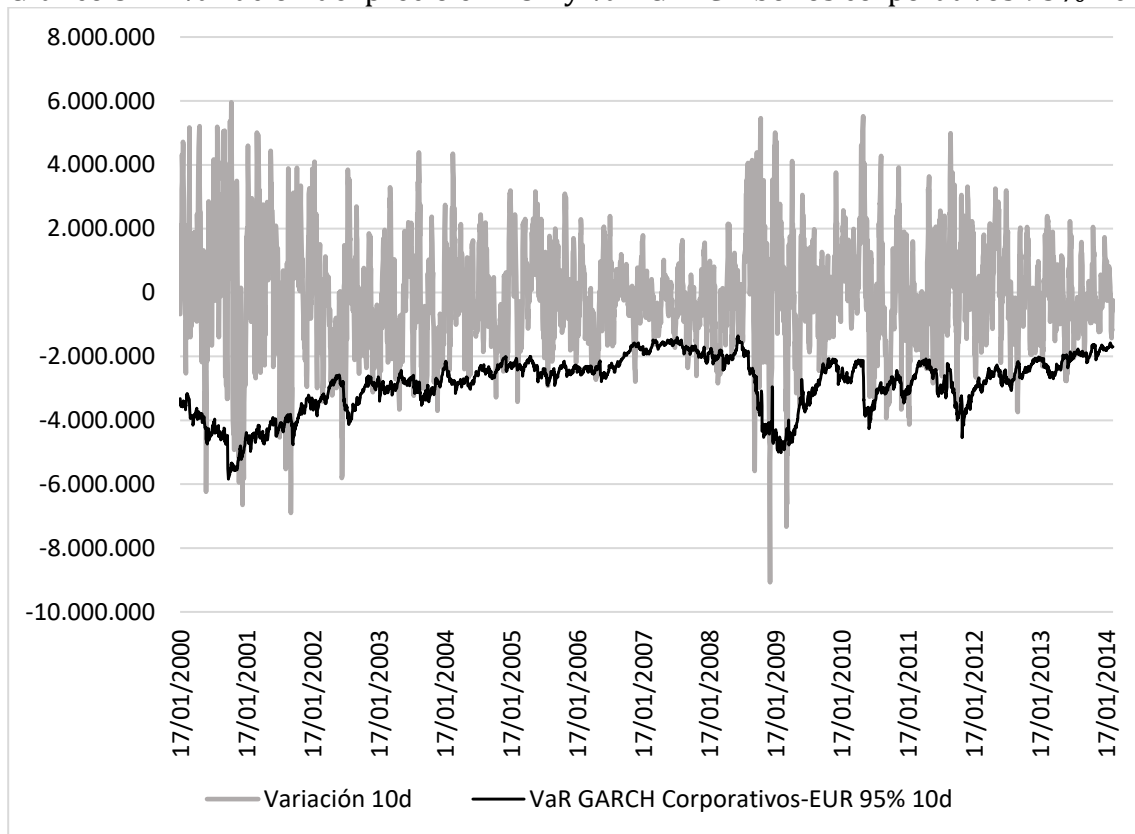
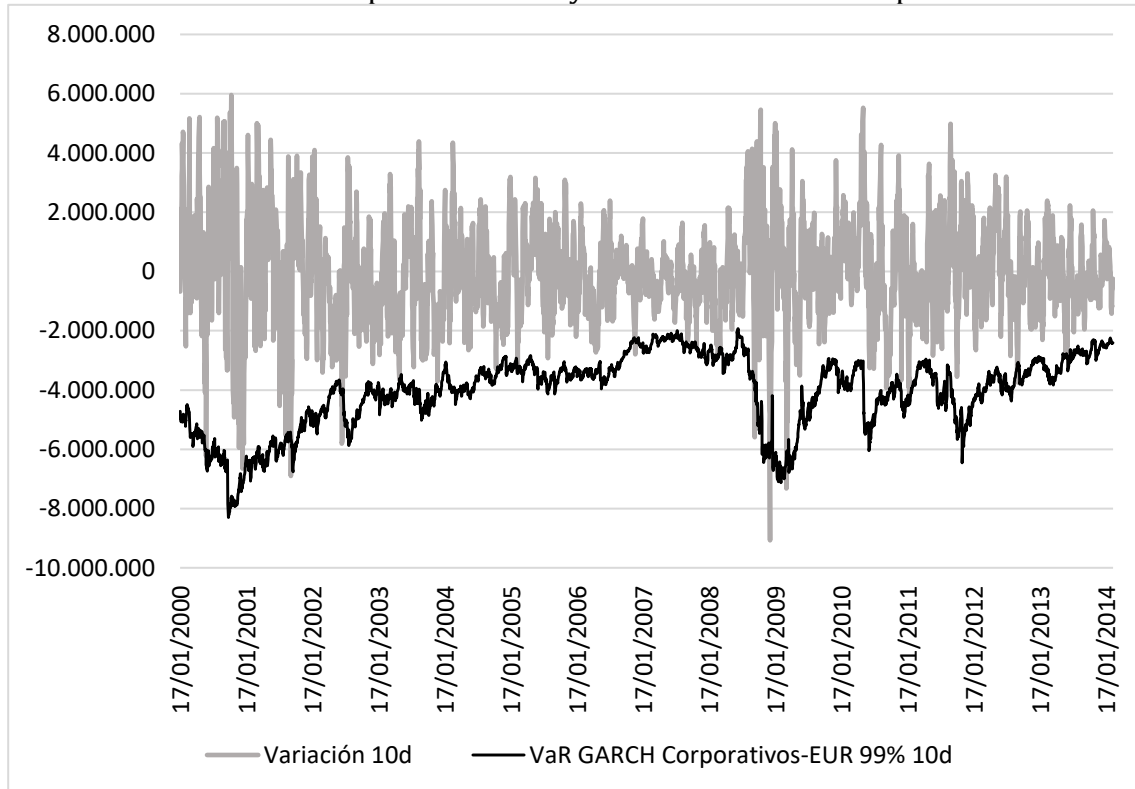


Gráfico 5.28 Variación del precio en EUR y VaR GARCH bonos corporativos 99% 10 días



### 5.4.6 Capital regulatorio en base al VaR GARCH

Según se muestra en los Gráficos 5.29 y 5.30, el capital regulatorio calculado en base a los modelos VaR GARCH al 99% y 10 días de horizonte es superior en todo momento a las pérdidas de las carteras de bonos del Tesoro y bonos corporativos.

Gráfico 5.29 Variación del precio en EUR y capital regulatorio en base al VaR GARCH bonos Tesoro 99% 10 días

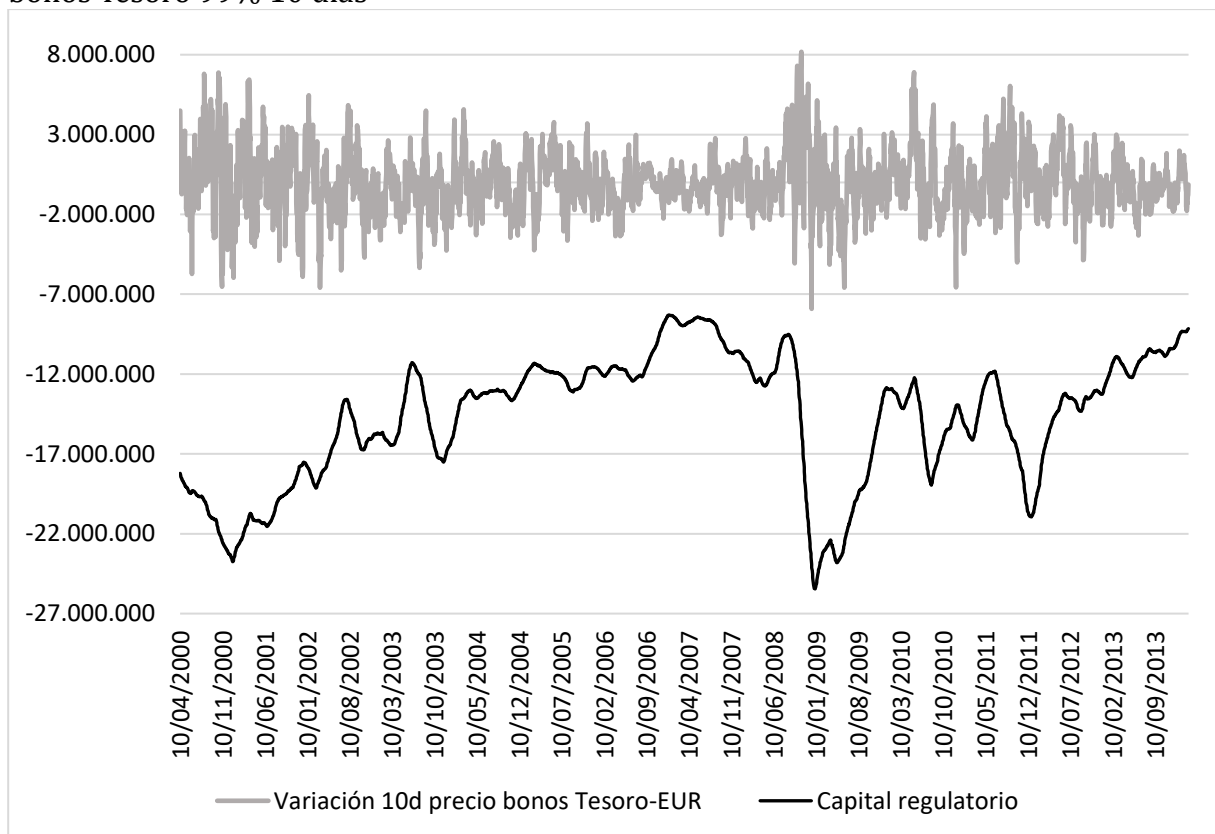
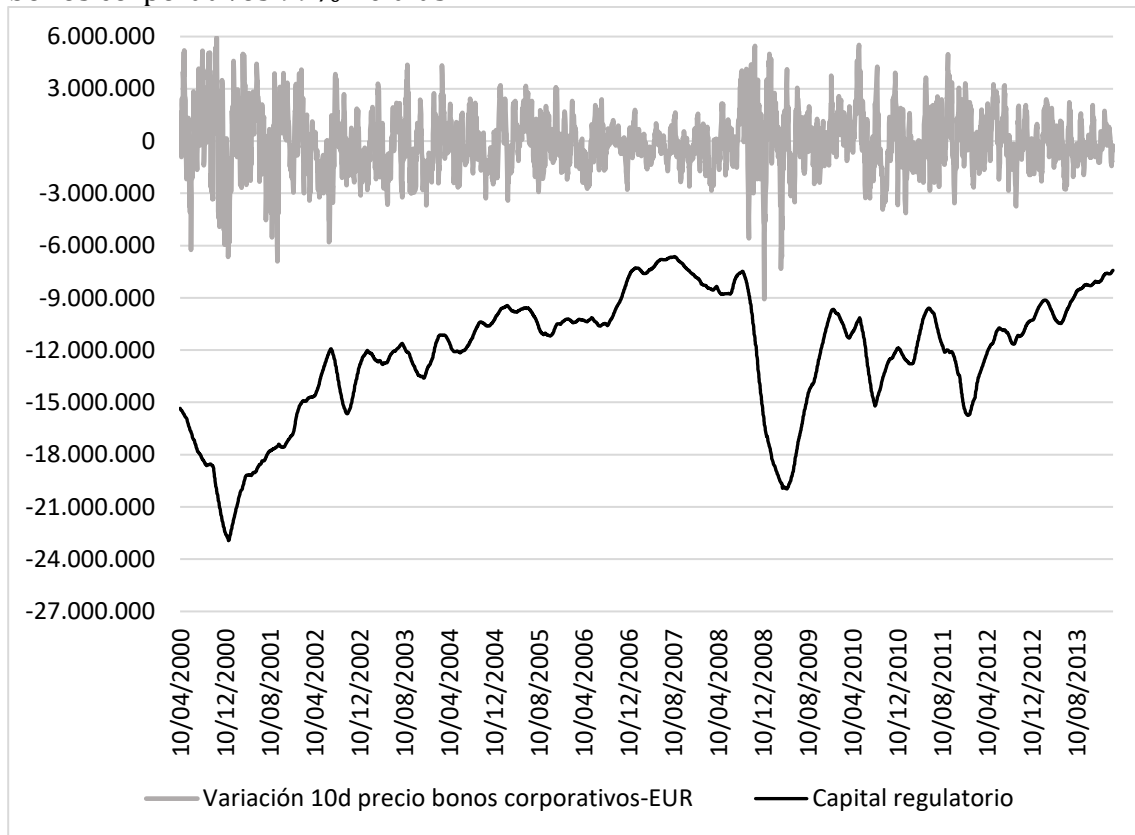


Gráfico 5.30 Variación del precio en EUR y capital regulatorio en base al VaR GARCH bonos corporativos 99% 10 días



## 5.5 Conclusiones

En el presente capítulo se ha calculado el VaR para dos carteras de bonos públicos y corporativos incorporándose en las estimaciones, el riesgo derivado de la variación del tipo de cambio en el periodo 2000-2014 (el riesgo al que estaría expuesto un inversor que haya adquirido los bonos y cuya moneda funcional es distinta de la divisa en la cotizan los bonos). Siguiendo las normas de Basilea II, se ha calculado el capital mínimo regulatorio para cada categoría de bonos. El capital mínimo regulatorio calculado en base a los modelos VaR contruidos con un nivel de confianza del 99% y un horizonte temporal de 10 días es superior a las pérdidas registradas en todo el periodo analizado.

# **Capítulo 6. Valor en riesgo de un producto estructurado vinculado al índice bursátil Eurostoxx 50**

## **6.1 Introducción**

En el presente capítulo se realiza la valoración y medición del riesgo de valor razonable de una nota estructurada comercializada por Lehman Brothers Securities, una subsidiaria del banco de inversión Lehman Brothers. Los productos estructurados fueron una importante fuente de financiación para los bancos de inversión y bancos comerciales en las dos décadas anteriores a la crisis. Después del colapso de los mercados de titulizaciones y la quiebra de Lehman Brothers en 2008, los mercados para estos productos se secan temporalmente, pero una vez superados los momentos álgidos de la crisis, se vuelven a comercializar. Actualmente los productos estructurados están presentes en el balance de numerosos bancos e instituciones financieras de todo el mundo.

La gran mayoría de productos estructurados carece de un mercado activo y para valorarlos es necesario acudir a los modelos y las técnicas de valoración generalmente aceptadas, que están disponibles en la literatura financiera especializada y en la práctica profesional. Los productos estructurados se pueden entender como una combinación de instrumentos tradicionales (como depósitos o bonos) e instrumentos derivados (fundamentalmente opciones). Un ejemplo de producto estructurado puede ser un bono convertible, que está compuesto por un título de deuda (instrumento tradicional) y una opción para convertir el bono en acciones ordinarias (instrumento derivado).

Los derivados que componen la estructura de cada producto se denominan “implícitos” porque no aparecen explícitamente en el contrato y no se pueden negociar separados de éste. La manera de expresar los derivados implícitos es identificar los flujos de caja del producto estructurado que replican los flujos que generarían distintos tipos de instrumentos derivados (Vilariño 2011a, 245). En el caso de que el producto estructurado no se valore por su valor razonable y los cambios en su valor no se recojan en la cuenta de resultados, es un

requisito regulatorio que los derivados implícitos se contabilicen por separado en la cartera de negociación para evitar que las entidades financieras eludan las normas contables aplicables a los derivados (Vilariño, Pérez, y García 2008, 190). En los bancos autorizados a utilizar modelos VaR, el capital regulatorio para los derivados implícitos se calcularía en base a estos modelos, si los derivados fuesen negociados explícitamente, como sería también el caso para el producto estructurado en su conjunto.

La valoración del producto estructurado se debe realizar con frecuencia diaria tanto por los emisores del producto como los inversores en el mismo, que están expuestos al riesgo de valor razonable en cuanto que movimientos adversos en las variables del modelo de valoración pueden producir pérdidas de valor del producto estructurado. La valoración y el modelo de riesgo estimados en este capítulo se construyen desde la perspectiva de una entidad financiera hipotética, sujeta a la regulación de Basilea para riesgo de mercado, que haya adquirido el producto comercializado por el banco de inversión. Por tanto, el producto estructurado es un activo para la entidad inversora.

Según las normas contables<sup>57</sup> en el valor razonable deben incorporarse todos los riesgos relevantes para los instrumentos valorados con modelos. Uno de los principales riesgos a los que están expuestos los inversores (compradores) de los productos estructurados es el riesgo de contraparte, que se refiere a la posibilidad de que, en el momento de abonar los pagos establecidos por el contrato, el vendedor no cumpla con sus obligaciones contractuales. La relevancia de este riesgo ha sido claramente puesta de manifiesto con la quiebra de Lehman Brothers, la matriz de la entidad emisora de la nota estructurada. La quiebra de esta entidad en septiembre de 2008 se produce a pocos meses después del vencimiento del contrato analizado en este trabajo, momento en el que numerosas entidades mantenían exposición al riesgo de contraparte de Lehman Brothers.

Los modelos de valoración no incluyen entre sus hipótesis el riesgo de contraparte ni el riesgo de liquidez, otro riesgo relevante en los productos estructurados. En cuanto al segundo, por su complejidad y dificultades de modelización, no existe ningún método generalmente

---

<sup>57</sup> Las Normas Internacionales de Información Financiera, implementadas en España a través de la Circular 4/2004 del Banco de España.

aceptado para su incorporación en el cálculo del valor razonable y la vía elegida por el Comité de Basilea para incorporar este riesgo en la regulación ha sido exigir el cumplimiento de dos ratios de liquidez, recogidas en Basilea III, que intentan asegurar la tenencia por parte de los bancos de una serie de instrumentos líquidos de alta calificación crediticia y el acceso a fuentes de financiación estable<sup>58</sup>. A efectos del presente ejercicio se considerará únicamente el ajuste por riesgo de contraparte del valor razonable, obtenido con técnicas generalmente aceptadas.

El periodo para el que se realiza la valoración y se calcula el VaR del producto estructurado incluye momentos de descenso acentuado del subyacente y aumentos de la prima de riesgo (el *spread*) del CDS de Lehman Brothers, relevante para el ajuste de riesgo de contraparte. Este ejercicio permite contrastar el funcionamiento del modelo de riesgo en una situación de mercado que se podría calificar como “estresada”. Asimismo, los resultados del ejercicio de valoración que incluye el ajuste por riesgo de contraparte aportaran elementos para reflexionar, en el capítulo final, acerca de la idoneidad de los modelos de riesgo de crédito, en su versión de riesgo de contraparte. El capital regulatorio para el producto estructurado se calcula con arreglo a las normas de Basilea II aplicadas en los capítulos anteriores.

## **6.2 Identificación de los instrumentos que replican la función de pago en el vencimiento del producto estructurado**

El producto estructurado, también denominado nota estructurada a lo largo del capítulo, recibe el nombre de “*Absolute buffer Certificate on Dow Jones Eurostoxx 50 Index*” (Anexo 27). Se emitió el 23 de mayo de 2005 con un precio de emisión de 1.000 dólares de Estados Unidos (USD) por certificado (la denominación empleada por el emisor en el contrato). El vencimiento se fijó para el 31 de mayo de 2008.

El subyacente es el índice EuroStoxx 50, un índice bursátil que representa el rendimiento promedio de las 50 empresas más grandes en términos de capitalización de mercado, pertenecientes a 19 sectores en 12 países de la eurozona. Estos países son Alemania, Austria,

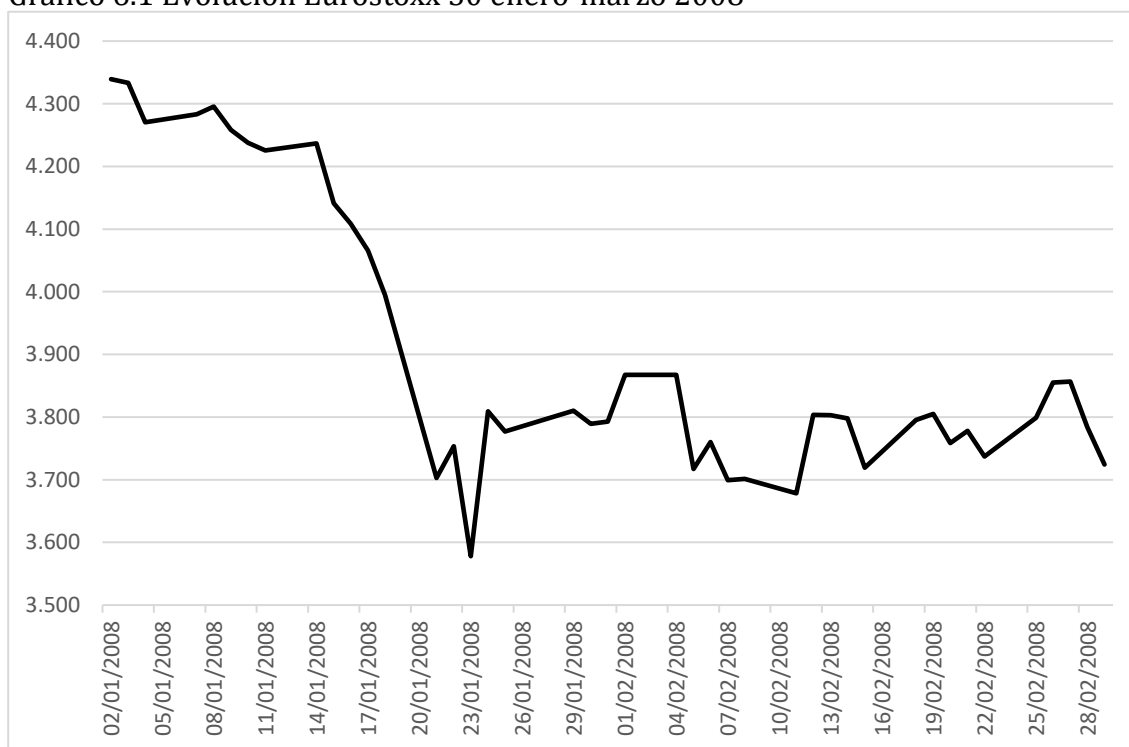
---

<sup>58</sup> Para más detalles acerca de las características de los estándares de liquidez se puede consultar Alonso y Trillo (2013, 23-26)

Bélgica, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos y Portugal.

La valoración del certificado se realiza entre las fechas 26/09/2007 y 29/02/2008 y los requerimientos de capital se calculan para los meses de enero y febrero de 2009, un periodo en el que la cotización del Eurostoxx 50 sufrió un fuerte retroceso: el índice cerró en 4.399,72 puntos el 31/12/2007 y el día 31/01/2008 se encontraba en 3.792,80 puntos. El descenso de más de 600 puntos del mes de enero se puede apreciar en el Gráfico 6.1.

Gráfico 6.1 Evolución Eurostoxx 50 enero-marzo 2008



La primera etapa para la valoración del certificado consiste en la identificación de los instrumentos derivados elementales capaces de reproducir los flujos de liquidez que el contrato establece para ser bonificados en el vencimiento a la entidad inversora (que adquiere el certificado). Un banco que haya adquirido la nota comercializada por Lehman Brothers, debería calcular el capital regulatorio para este instrumento a diario (la entidad inversora podría ser también un fondo de inversión, un fondo de pensiones o un inversor particular de patrimonio medio-alto). El certificado está nominado en dólares y se liquida en el vencimiento mediante la entrega de efectivo.

Los flujos de liquidez que proporciona el emisor del certificado al comprador son únicamente los obtenidos en el vencimiento. Denominado  $\bar{A}_T$  el importe de la amortización del certificado en la fecha T, vencimiento, el contrato especifica los siguientes posibles valores de  $\bar{A}_T$ .

1.  $\bar{A}_T = 1000 \times UP \times \frac{FP}{IP}$ ; si  $FP \geq UBP$
2.  $\bar{A}_T = 1000 \times \left( 100\% + \frac{LP \times (UBP - FP)}{IP} \right)$ ; si  $LBP \leq FP \leq UBP$
3.  $\bar{A}_T = 1000 \times \frac{FP}{IP}$ ; si  $FP < LBP$

IP Precio inicial (en este caso, el valor del índice bursátil en la fecha de vencimiento)

UBP Precio barrera alta, 100 % x IP

LBP Precio barrera baja, 75 % x IP

FP Precio final, es el nivel del índice en la fecha de vencimiento

UP Participación alta, 100 %

LP Participación baja, 100 %

Siguiendo el método desarrollado en Vilariño (2011a, 247-50), se expresa la amortización de la nota en el vencimiento según las reglas de liquidación expuestas anteriormente, que se muestran en el Gráfico 6.2.

A continuación, los tramos A, B y C corresponden a las liquidaciones contingentes 1, 2 y 3 que establece el contrato y que dependen de la evolución del índice bursátil subyacente.

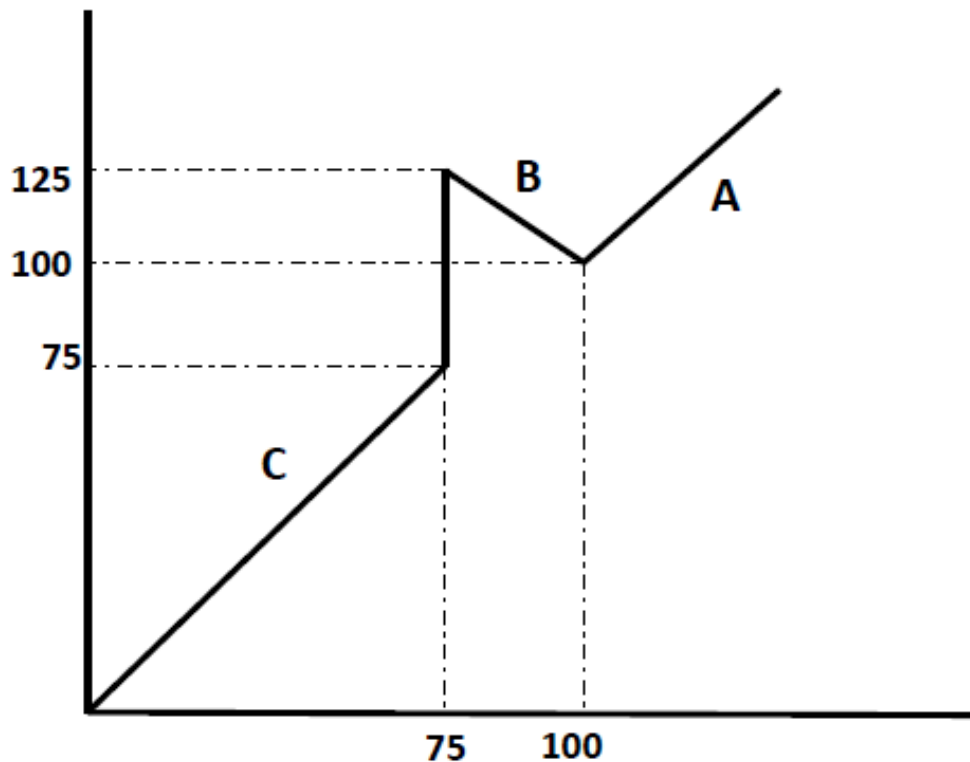
1. Según la función de pago expresada anteriormente, si en el vencimiento el índice está en un nivel superior al nivel inicial, la liquidación es igual a la ratio entre el valor del índice en el vencimiento, multiplicada por 1.000, dado que UP, el tercer factor del producto, es el 100%.
2. Si el valor del índice está comprendido entre el 75% y el 100% de su valor inicial la liquidación es igual a la ratio entre i) la diferencia entre el valor inicial y el valor final y ii) el valor inicial, que se multiplica por 1.000 y se le suma 1.000.



3. Finalmente, si el valor del índice es menor que el 75% de su valor inicial, la liquidación, como en el primer caso, es igual a la ratio entre el valor final y el valor inicial, multiplicado por 1.000.

El valor del índice subyacente en la fecha inicial fue de 3.070,98. A efectos de expresar gráficamente la función de pago en el vencimiento y realizar la estimación del valor razonable, se considera IP, el valor del índice en la fecha de inicio del contrato, igual a 100.

Gráfico 6.2 Función de pago en el vencimiento



La función de pago que representa el tramo A, representada abajo, en el Gráfico 6.3, puede representarse analíticamente del modo siguiente:

$$L_T^A = \begin{cases} 0 & \text{si } S_T < 100 \\ S_T & \text{si } S_T \geq 100 \end{cases}$$

Esta función de pago corresponde al instrumento denominado opción de compra europea sobre el subyacente. La valoración de esta opción puede expresarse mediante la suma de dos opciones: una opción de compra estándar europea con precio de ejercicio  $E = 100$  y una opción de compra digital con precio de ejercicio  $E = 100$  y liquidación en dinero  $L = 100$ .

Para verificar lo anterior podemos escribir  $L_T^A$  del siguiente modo:

$$L_T^A = \text{Max}(S_T - E, 0) + E \times l_{S_T \geq E}$$

$l_{S_T \geq E}$  es la función indicatriz que de forma general se define:

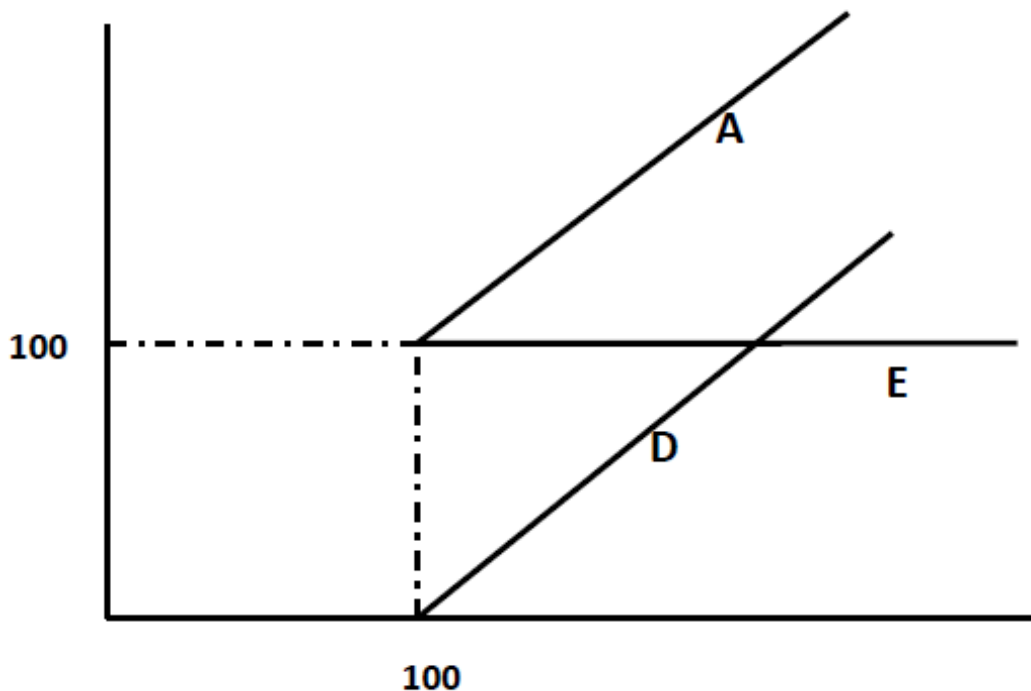
$$l_A = \begin{cases} 1 & \text{si } A \text{ es verdadero} \\ 0 & \text{si } A \text{ es falso} \end{cases}$$

En este caso:

$$l_{S_T \geq E} = \begin{cases} 1 & \text{si } S_T \geq E \\ 0 & \text{si } S_T < E \end{cases}$$

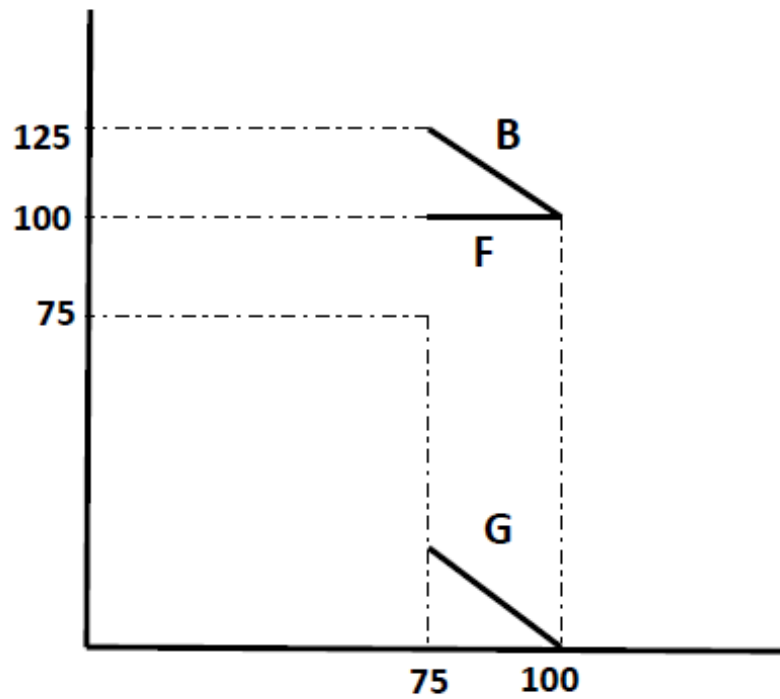
La función de pago representada por el tramo A es la suma de las funciones de pago representadas por los tramos D y E.

Gráfico 6.3 Tramo A de la función de pago



La segunda función de pago corresponde al tramo B del Gráfico 6.4. Observamos que la función de pago representada por el tramo B es la suma de las funciones de pago representadas por los tramos F y G.

Gráfico 6.4 Tramo B de la función de pago

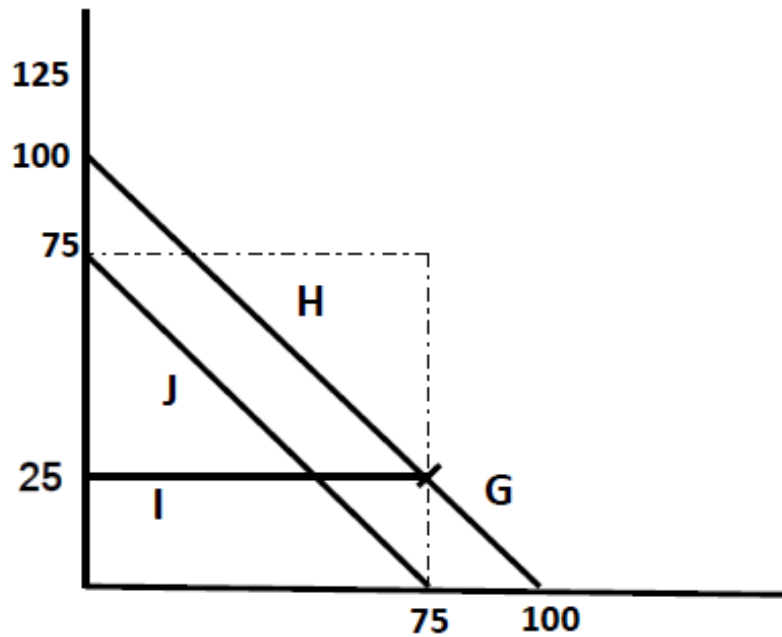


La función de pago del tramo F corresponde a una opción rango europea que es posible expresar como diferencia de valoración de las opciones put digitales europeas.

$$L_T^T = E \times 1_{S_T \leq E} - E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E}$$

La función de pago correspondiente al tramo G se obtiene considerando la construcción geométrica del Gráfico 6.5.

Gráfico 6.5 Tramo G de la función de pago



La suma de la función de pago que representa el tramo G y la función de pago del tramo H es la función de pago de una opción de venta europea con precio de ejercicio  $E = 100$ .

$$L_T^G + L_T^H = \text{Max}(E - S_T, 0)$$

$$L_T^G = \text{Max}(E - S_T, 0) - L_T^H$$

El tramo H se puede expresar geoméricamente como la suma de los tramos J e I.

$$L_T^H = L_T^J + L_T^I$$

La función de pago del tramo J corresponde a una opción de venta europea con precio de ejercicio:

$$E' = 0,75 \times E \quad L_T^J = \text{Max}(0,75 \times E - S_T, 0)$$

La función de pago del tramo I es el de una opción digital de venta de precio de ejercicio  $E' = 0,75 \times E$  y pago en el vencimiento si la opción está en dinero  $L = 0,25 \times E$ .

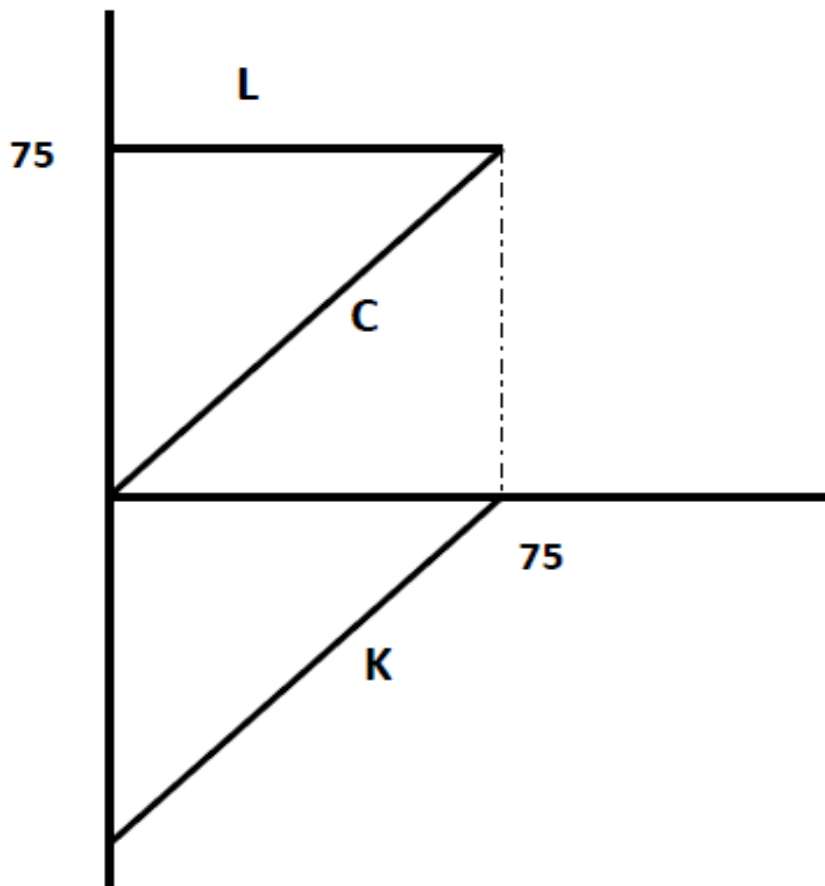
$$L_T^I = 0,25 \times E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E}$$

En definitiva, la función de pago del tramo B es:

$$L_T^B = L_T^F + L_T^G = E \times 1_{S_T \leq E} - E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E} + \text{Max}(E - S_T, 0) - \text{Max}(0,75 \times E - S_T, 0) - 0,25 \times E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E}$$

Finalmente, queda el tramo C. La función de pago del tramo C puede descomponerse geoméricamente en los tramos L y K.

#### 6.6 Tramo C de la función de pago



La función de pago del tramo L corresponde a una opción de venta digital con precio de ejercicio  $E' = 0,75 \times E$  y pago en el vencimiento si la opción está en dinero, por importe  $L = 0,75 \times E$ . La función de pago es:

$$L_T^L = 0,75 \times E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E}$$

La función de pago del tramo K corresponde a una opción de venta emitida con precio de ejercicio  $E' = 0,75 \times E$

$$L_T^K = -\text{Max}(0,75 \times E - S_T, 0)$$

La función de pago del tramo C es:

$$L_T^C = 0,75 \times E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E} - \text{Max}(0,75 \times E - S_T, 0)$$

La función de pago de la nota estructurada es la suma de las funciones de pago  $L_T^A$ ,  $L_T^B$  y  $L_T^C$ .

$$L_T = L_T^A + L_T^B + L_T^C = \text{Max}(S_T - E, 0) + E \times 1_{S_T \geq E} + E \times 1_{S_T \leq E} - E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E} + \text{Max}(E - S_T, 0) - \text{Max}(0,75 \times E - S_T, 0) - 0,25 \times E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E} + 0,75 \times E \times 1_{S_T \leq 0,75 \times E} - \text{Max}(0,75 \times E - S_T, 0)$$

El resumen la amortización de la nota equivale a los siguientes instrumentos:

- Opción de compra (Call) estándar larga (comprada) con precio de ejercicio E
- Opción Call digital larga con precio de ejercicio E y pago de liquidez  $L = E$
- Opción de venta (Put) digital larga con precio de ejercicio E y pago de liquidez  $L = E$
- Opción Put digital corta (vendida) con precio de ejercicio  $0,75 \times E$  y pago de liquidez  $L = E$
- Opción Put estándar larga con precio de ejercicio E
- Opción Put estándar corta con precio de ejercicio  $0,75 \times E$
- Opción Put digital corta con precio de ejercicio  $0,75 \times E$  y pago de liquidez
- $L = 0,25 \times E$
- Opción Put digital larga con precio de ejercicio  $0,75 \times E$  y pago de liquidez
- $L = 0,75 \times E$
- Opción Put estándar corta con precio de ejercicio  $0,75 \times E$

### 6.2.1 Modelos de valor razonable para los instrumentos derivados implícitos

El modelo canónico para la valoración de opciones es el modelo Black-Scholes. Según dicho modelo, el valor de las opciones estándar y digitales implícitas en la nota estructurada son:

1. Opción de compra estándar europea:

$$C_t = I_t e^{-q_t(T-t)} N(d_{1t}) - E e^{-r_t(T-t)} N(d_{2t})$$

2. Opción de venta estándar europea:

$$P_t = E e^{-r_t(T-t)} N(-d_{2t}) - I_t e^{-q_t(T-t)} N(-d_{1t})$$

3. Opción de compra digital europea:

$$CD_t = L \times e^{-r_t(T-t)} \times N(d_{2t})$$

4. Opción de venta digital europea:

$$PD_t = L \times e^{-r_t(T-t)} \times N(-d_{2t})$$

$$d_{1t} = \frac{\ln \frac{I_t}{E} + \left( r_t - q_t + \frac{\sigma_t^2}{2} \right) (T-t)}{\sigma_t \sqrt{T-t}} \quad d_{2t} = d_{1t} - \sigma_t \sqrt{T-t}$$

En estas expresiones las variables tienen el siguiente significado:

$C_t$  precio de la opción de compra (call) estándar europea

$P_t$  precio de la opción de venta (put) estándar europea

$CD_t$  precio de la opción de venta digital europea

$PD_t$  precio de la opción de venta digital europea

$I_t$  valor del índice en la fecha de valoración

$E$  precio de ejercicio de cada opción

$r_t$  tipo de interés cupón cero libre de riesgo al plazo de vencimiento de la opción

$T-t$  plazo o vida residual del contrato de opción

$q_t$  tasa de dividendos del índice expresada en forma de tasa continua

$\sigma_t$  volatilidad de la rentabilidad del activo subyacente, en este caso el índice bursátil, anualizada

$N(d)$  valor de la función de distribución de una variable normal estándar en el punto  $x = d$

$$N(d) = \int_{-\infty}^d \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

Las variables  $I_t$ ,  $E$ ,  $r$ ,  $T-t$  son observables o están determinadas por el contrato. Las variables  $\sigma_t$  y  $q_t$  deben ser estimadas. Más adelante se detallará el procedimiento de estimación. Teniendo en cuenta los modelos de valoración de las opciones estándar y digitales, el valor actual de la función de pago en el vencimiento del certificado es:

$$\begin{aligned} VA(L_T) = & I_t e^{-q_t(T-t)} N(d_{1t}) - E e^{-r_t(T-t)} N(d_{2t}) + E e^{-r_t(T-t)} N(d_{2t}) + E e^{-r_t(T-t)} N(-d_{2t}) \\ & - E e^{-r_t(T-t)} N(-d'_{2t}) + E e^{-r_t(T-t)} N(-d_{2t}) - I_t e^{-q_t(T-t)} N(-d_{1t}) - 0,75 \times E e^{-r_t(T-t)} N(-d'_{2t}) \\ & + I_t e^{-q_t(T-t)} N(-d'_{1t}) - 0,25 \times E e^{-r_t(T-t)} N(-d'_{2t}) + 0,75 \times E e^{-r_t(T-t)} N(-d'_{2t}) \\ & - 0,75 \times E e^{-r_t(T-t)} N(-d'_{2t}) + I_t e^{-q_t(T-t)} N(-d'_{1t}) \end{aligned}$$

Esta expresión se puede simplificar dado que algunos términos se cancelan y otros se pueden agrupar.



$$VA(L_T) = I_t e^{-q_t(T-t)} N(d_{1t}) + 2E e^{-r_t(T-t)} N(-d_{2t}) - E e^{-r_t(T-t)} N(-d'_{2t}) - I_t e^{-q_t(T-t)} N(-d_{1t})$$

$$+ 2I_t e^{-q_t(T-t)} N(-d'_{1t}) - E e^{-r_t(T-t)} N(-d'_{2t}) = I_t e^{-q_t(T-t)} (N(d_{1t}) - N(-d_{1t}) + 2N(-d'_{1t})) +$$

$$+ 2 \times E e^{-r_t(T-t)} (N(-d_{2t}) - N(-d'_{2t}))$$

$$d_{1t} = \frac{\ln \frac{I_t}{E} + \left( r_t - q_t + \frac{\sigma_t^2}{2} \right) (T-t)}{\sigma_t \sqrt{T-t}} \quad d_{2t} = d_{1t} - \sigma_t \sqrt{T-t}$$

$$d'_{1t} = \frac{\ln \frac{I_t}{0,75 \times E} + \left( r_t - q_t + \frac{\sigma_t^2}{2} \right) (T-t)}{\sigma_t \sqrt{T-t}} \quad d'_{2t} = d'_{1t} - \sigma_t \sqrt{T-t}$$

A continuación, se expone el procedimiento que se seguirá para incorporar un ajuste por riesgo de contraparte en el valor razonable.

## 6.2.2 Precio de las opciones incorporando el riesgo de contraparte (CVA)

El comprador de una opción está expuesto al riesgo de incumplimiento de las obligaciones de pago por parte del vendedor. En la nota estructurada que estamos analizando, los derivados implícitos portadores de riesgo de incumplimiento son todas las opciones de compra o de venta “compradas” por el inversor que adquiere la nota por lo que el precio de cada opción en posición larga debe ajustarse por el riesgo de contraparte (el término compradas se refiere a que, de las nueve opciones implícitas que se han identificado en el apartado 6.2, cinco son opciones en las que el inversor, si hubiera negociado por separado los derivados implícitos, debería tener una posición compradora para recibir los flojos estipulados en el contrato).

Se suele emplear la abreviación CVA para denominar el ajuste por riesgo de contraparte, según la terminología inglesa (*credit valuation adjustment*). El concepto relevante para incorporar dicho ajuste en el precio de las opciones compradas es la pérdida esperada. Sea  $T$  la fecha de vencimiento de la opción y  $PE_T$  la pérdida esperada. El valor de la opción con

riesgo,  $C^*$  se obtiene restando al precio de la opción, calculado sin tener en cuenta el riesgo de contraparte, el valor actual de la pérdida esperada. Es decir:

$$C_t^* = C_t - e^{-r_t(T-t)} PE_T$$

Para la estimación de la pérdida esperada sea  $D$  la variable incumplimiento (*default*),  $EXP$  la exposición y  $SEV$  la variable severidad.

La pérdida  $P$  se puede expresar mediante el producto de las tres variables:

$$P = D \times EXP \times SEV$$

La variable incumplimiento es una variable de Bernoulli con valores posibles 1 y 0 y probabilidades  $PD$  y  $1-PD$ . La exposición es la máxima pérdida que puede sufrir el tenedor de la opción (la exposición en la fecha de incumplimiento) y la severidad es la ratio entre la pérdida real y la exposición. La pérdida esperada se obtiene tomando esperanzas en los dos miembros de la ecuación anterior y suponiendo que las variables  $D$ ,  $EXP$  y  $SEV$  son independientes.

$$PE_T = E_t(P) = E_t(D \times EXP_T \times SEV_T) = E_t(D) \times E_t(EXP_T) \times E_t(SEV_T)$$

El valor esperado de la variable incumplimiento es  $PD$ , el valor esperado de la exposición será calculado más adelante y el valor esperado de la severidad se denomina  $LGD$  acrónimo de *loss given default*.

$$PE_T = PD \times E_t(EXP_T) \times LGD_T$$

El valor esperado de la exposición debe realizarse bajo la medida de probabilidad riesgo neutral que es la medida de probabilidad que gobierna los cálculos en el contexto de la valoración. Por la teoría de valoración de opciones sabemos que el precio de la opción es el valor esperado del valor de la opción en el vencimiento, actualizado. Es decir,

$$C_t = e^{-r_t(T-t)} E_t(C_T)$$

La exposición, máxima pérdida en el caso de incumplimiento, es exactamente  $C_T$ , la liquidación a la que tiene derecho el comprador de la opción en el vencimiento.

$$EXP_T = C_T$$

$$C_t = e^{-r_t(T-t)} E_t (EXP_T)$$

Lo que permite obtener la esperanza de la exposición bajo la medida de probabilidad riesgo neutral.

$$E_t (EXP_T) = C_t e^{r_t(T-t)}$$

Según lo anterior la pérdida esperada es:

$$PE_T = PD \times E_t (EXP_T) \times LGD_T = PD \times C_t e^{r_t(T-t)} \times LGD_T$$

El precio de la opción teniendo en cuenta el riesgo de contraparte será:

$$C_t^* = C_t - e^{-r_t(T-t)} PE_T = C_t - e^{-r_t(T-t)} PD \times C_t e^{r_t(T-t)} \times LGD_T = C_t (1 - PD \times LGD_T)$$

Para la aplicación del modelo es necesario disponer de estimaciones de la probabilidad de incumplimiento  $PD$  y la tasa de pérdida dado el incumplimiento  $LGD_T$ , que denominamos  $LGD$  para simplificar la notación.

Sea  $B(0, T)$  el precio de un bono cupón cero emitido por el emisor de la opción. Aplicando el modelo de valoración riesgo neutral el precio del bono se expresa mediante el valor esperado del bono en el vencimiento actualizado con el tipo de interés libre de riesgo. Se verifica:

$$B(0, T) = e^{-r_t(T-t)} E_t [B(T, T)]$$

El valor esperado del precio del bono en el vencimiento, suponiendo que el nominal del bono es la unidad:

$$E_t [B(T, T)] = 1 \times (1 - PD) + (1 - LGD) \times PD$$

$$E_t [B(T, T)] = 1 - LGD \times PD$$

El precio del bono se expresa en función de la probabilidad de incumplimiento y de la tasa de pérdida dado el incumplimiento:

$$B(0, T) = e^{-r_t(T-t)} (1 - PD \times LGD)$$

No es posible obtener los valores de  $PD$  y  $LGD$  pero sí el valor del producto.

$$PD \times LGD = 1 - B(0, T) e^{r_t(T-t)}$$

Por otra parte, el precio del bono se puede expresar en función del tipo de interés cupón cero libre de riesgo y del spread.

$$B(0, T) = \frac{1}{e^{(r_t + s_t)(T-t)}} = e^{-r_t(T-t)} e^{-s_t(T-t)}$$

$$PD \times LGD = 1 - e^{-r_t(T-t)} e^{-s_t(T-t)} e^{r_t(T-t)} = 1 - e^{-s_t(T-t)}$$

O también,

$$1 - PD \times LGD = e^{-s_t(T-t)}$$

El precio de la opción ajustado con el riesgo de contraparte en términos de pérdida esperada es:

$$C_t^* = C_t (1 - PD \times LGD) = C_t e^{-s_t(T-t)}$$

### 6.2.3 Cálculo del valor razonable de la nota estructurada sin ajuste para riesgo de contraparte

El procedimiento para el cálculo del valor razonable en cada fecha consiste en:

1. Obtención del precio de cierre diario del índice en cada fecha  $t$ .
2. Estimación de la volatilidad de la rentabilidad del índice cada día  $t$  para el plazo  $T$  que corresponde al vencimiento de la nota.
3. Obtención del tipo de interés libre de riesgo del dólar cada día  $t$  para el plazo  $T-t$ . Para el tipo de interés libre de riesgo se utilizan los tipos LIBOR del USD a los plazos correspondientes.
4. Cálculo del valor razonable diario de las opciones entre las fechas  $t$  y la fecha de vencimiento con los modelos correspondientes a cada tipo de opción
5. Cálculo del valor razonable de la nota el día  $t$

6. Cálculo del ajuste por riesgo de contraparte a partir de los datos diarios de la prima del CDS de Lehman Brothers en el periodo de valoración

La estimación de la volatilidad se realiza con frecuencia diaria en base a una muestra de observaciones históricas de tamaño igual al plazo del vencimiento de la nota en cada fecha. El día 26/09/2007 el plazo para el vencimiento de la nota era de 211 días por lo que la estimación de la volatilidad se realiza en base a la muestra formada por las 211 observaciones anteriores de la rentabilidad del índice bursátil. Se mantiene el mismo valor por un periodo de 10 días después de los cual se repite el procedimiento. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 28.

Para la tasa de dividendos se supone un valor inicial del 1% que será mantenido a lo largo del periodo de valoración.

Los tipos de interés libres de riesgo  $r$  utilizados en la valoración son los tipos LIBOR USD correspondientes al plazo hasta el vencimiento de la nota. En septiembre del 2007, el primer mes de valoración, el plazo para el vencimiento era de nueve meses por lo que el primer tipo LIBOR utilizado es el LIBOR a 9 meses. El último valor es el LIBOR a 3 meses del mes de marzo 2008 cuando finaliza el ejercicio de simulación y la nota está a 3 meses del vencimiento.

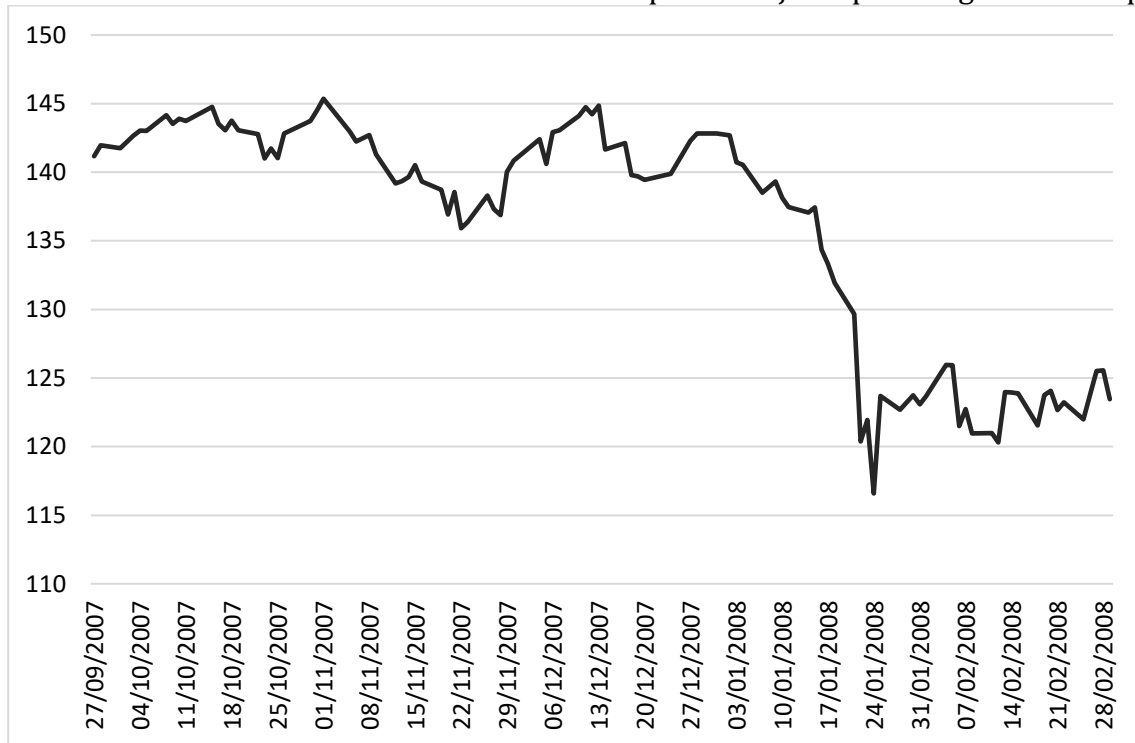
Utilizando los valores estimados para la volatilidad y la tasa de dividendos del índice subyacente y los modelos de valoración correspondientes a cada tipo de opción de la estructura que compone la nota analizada, se obtiene el valor razonable diario de la nota.

Los valores obtenidos están recogidos en la Gráfico 6.7. El valor razonable calculado corresponde a un certificado emitido con un valor nominal de 1.000 euros. El valor del índice el primer día de vigencia del contrato es 3.070,98. Se considera este primer valor igual a 100 y los cálculos se realizan en dicha base<sup>59</sup>.

---

<sup>59</sup> En el Anexo 29 se muestra la evolución del valor de la nota estructurada y del índice Eurostoxx 50.

Gráfico 6.7. Valor razonable de la nota sin incorporar el ajuste por riesgo de contraparte



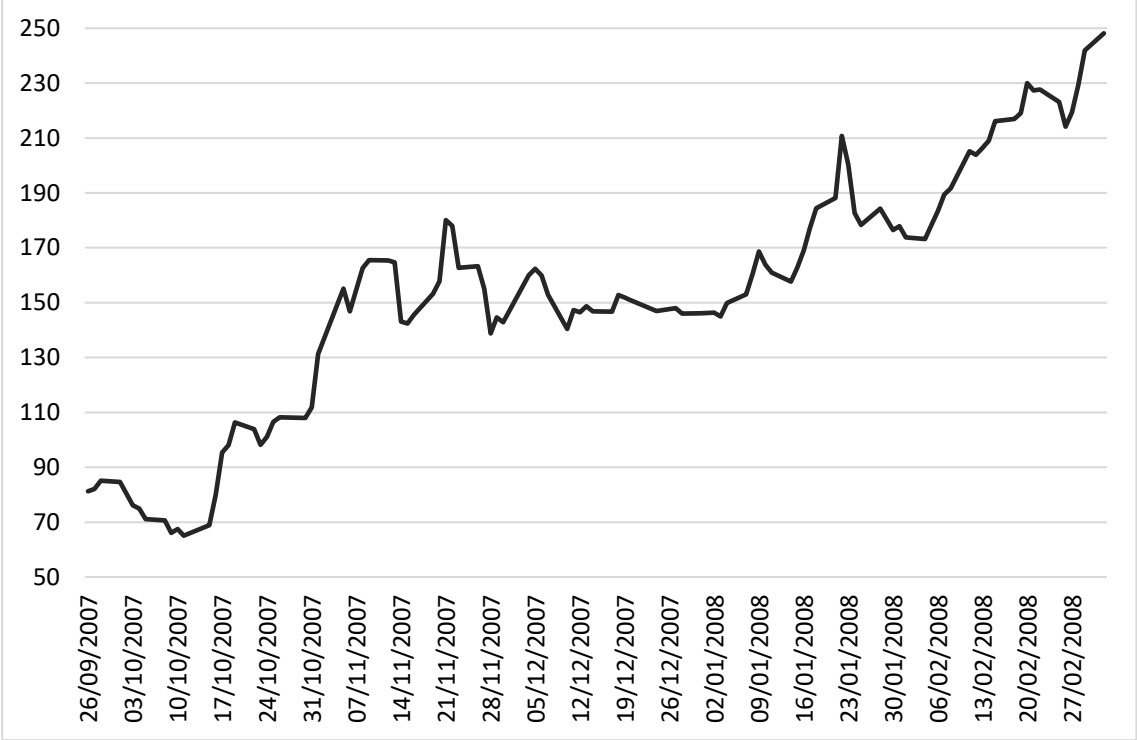
En el periodo analizado el valor razonable de la nota es función principalmente del valor razonable de las dos opciones de compra compradas, una estándar, con precio de ejercicio 100 y otra digital con precio de ejercicio 100 y liquidación 100. Debido a que el valor del índice aumentó considerablemente desde la fecha de inicio del contrato, la mayoría de las opciones de venta se encontraron “fuera de dinero” a lo largo del periodo analizado, por lo que su valor es nulo o muy cercano a cero. Dos de las opciones de venta de las identificadas, una estándar de precio de ejercicio 100 y una digital de precio de ejercicio 100 y liquidación 100, tienen valor positivo, aunque muy pequeño en comparación con el valor de las opciones de compra.

#### 6.2.4 Cálculo del valor razonable de la nota estructurada con ajuste por riesgo de contraparte

El spread utilizado en la estimación de la pérdida esperada es el spread del CDS de Lehman Brothers a 2 años (Gráfico 6.8). En el periodo analizado, el spread aumenta desde cerca de 150 puntos básicos, a principios de enero de 2008, hasta 250 puntos básicos a finales de

febrero. Cuanto mayor sea el spread, el valor de la nota con ajuste será menor que el valor sin ajustar.

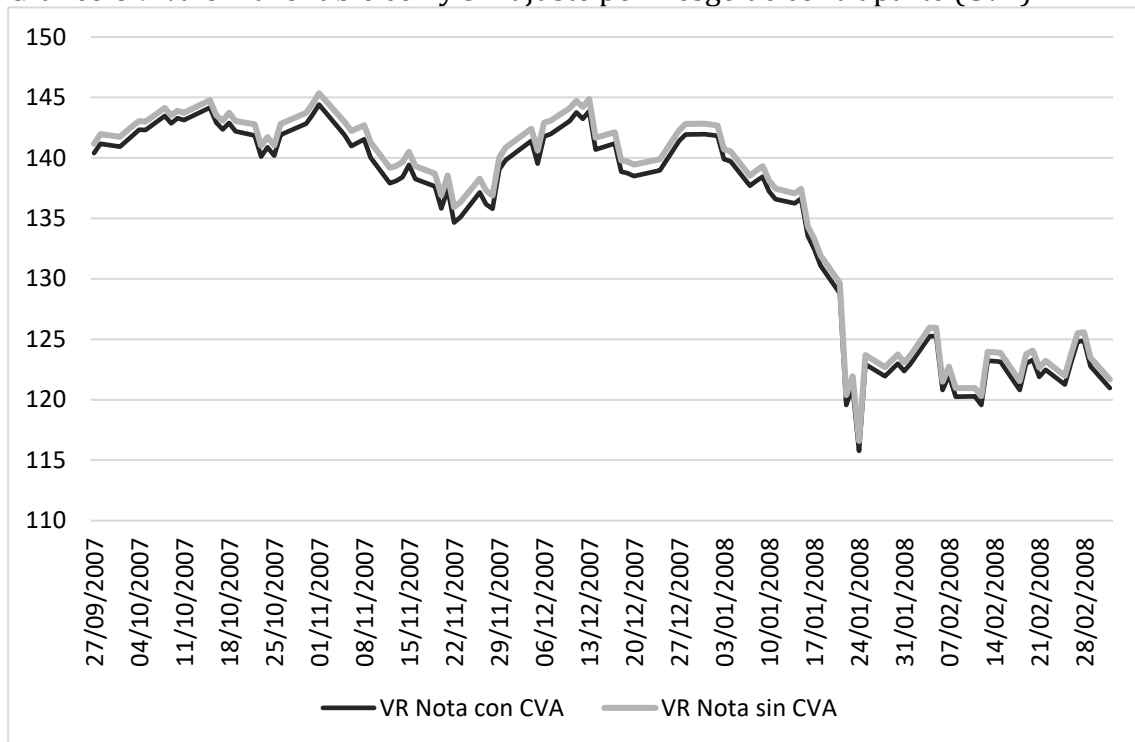
Gráfico 6.8 Spread CDS Lehman Brothers 2 años (puntos básicos)



Fuente: Datastream

El valor razonable de la nota, calculado sin incorporar el ajuste por riesgo de contraparte y posterior a la incorporación, se presenta en el Gráfico 6.9. Se observa que el ajuste por riesgo de contraparte genera una ligera disminución del valor de la nota, comparado con su valor sin ajustar.

Gráfico 6.9 Valor razonable con y sin ajuste por riesgo de contraparte (CVA)



### 6.3 Modelos de riesgo para la nota estructurada

El VaR del certificado se calcula entre las fechas 26/09/2007 y 29/02/2008. En primer lugar, es necesario calcular el VaR para el índice subyacente y para los instrumentos derivados implícitos (la estructura de opciones identificada anteriormente). Posteriormente, el VaR del certificado se calcula en base al VaR de las opciones. Para el cálculo del VaR de las opciones se utiliza la aproximación delta-gamma para lo cual es necesario obtener el valor de los parámetros de sensibilidad delta y gamma de cada opción para cada día del periodo de análisis.

Debido a que se ha incorporado en la valoración el ajuste por riesgo de contraparte, incorporaremos al modelo de riesgo la estimación de las pérdidas potenciales debidas a los movimientos del *spread* del CDS de Lehman Brothers utilizado en el cálculo del ajuste por riesgo de contraparte.

El procedimiento operativo para el cálculo del valor en riesgo de la nota estructurada, realizado con frecuencia diaria, es el siguiente:



Cálculo del VaR del índice subyacente en cada fecha entre 26/09/2007 y 29/02/2008, utilizando un modelo VaR paramétrico normal y un modelo EWMA para la estimación de la volatilidad<sup>60</sup>. El VaR se calcula con horizonte diario y el VaR a 10 días se obtiene multiplicando el valor diario por la raíz de 10. El nivel de confianza al que se estiman las pérdidas máximas es del 99%.

1. Se realiza el contraste del modelo utilizando el test de Kupiec
2. Obtención de los parámetros delta y gamma de las opciones, según se detallará más adelante
3. Cálculo del VaR de las opciones a 1 día y a 10 días a partir del VaR a 10 días del índice Eurostoxx
4. Obtención del valor en riesgo del valor razonable de la nota como función de los valores en riesgo de las opciones
5. Estimación del VaR de la nota a 1 día y 10 días
6. Contraste del VaR estimado, diario y a 1 día, frente a la variación registrada en el valor razonable de la nota
7. Cálculo del capital regulatorio para la nota según las normas de Basilea y contraste con las variaciones del valor razonable de la cartera
8. Incorporación al modelo de riesgo de la nota, un modelo VaR para el *spread* del CDS de Lehman Brothers, primero considerando una aproximación conservadora según la cual el coeficiente de correlación entre el *spread* y el índice subyacente es igual a 1 y segundo, utilizando una estimación muestral del coeficiente de correlación a partir de datos históricos de las dos series.

Para el cálculo del VaR del índice Eurostoxx se utiliza el siguiente modelo:

$$\text{VaR}_{t+h}^I = I_t k(\alpha) \sigma_t \sqrt{h}$$

---

<sup>60</sup> El modelo VaR utilizado para estimar las pérdidas a corto plazo del índice subyacente es el mismo tipo de modelo VaR paramétrico que se ha empleado en el capítulo 3 para los instrumentos de capital. El VaR y las variaciones a 10 días del índice se muestran en el Anexo 30.

$I_t$  es el valor del índice en la fecha  $t$ .  $\alpha$  es el nivel de confianza y  $k(\alpha)$  es el percentil correspondiente a dicho nivel de confianza en una variable normal estándar.  $h$  representa el horizonte temporal al que se realiza la estimación del valor en riesgo.

### 6.3.1 VaR delta-gamma de las opciones

El VaR delta-gamma de las opciones se expresa como:

$$\Delta V_{t+h} = \delta_t \text{VaR}_{t+h}^I + \frac{1}{2} \Gamma_t (\text{VaR}_{t+h}^I)^2$$

$\Delta V_{t+h}$  es el valor en riesgo o la variación estimada del precio (valor razonable) de la opción sobre el subyacente  $I$  calculada en la fecha  $t$  para el horizonte  $h$  ( $h=10$  para el cálculo del capital regulatorio).

$\Delta \text{VaR}_{t+h}^I$  es el valor en riesgo del índice subyacente calculado en la fecha  $t$  para el horizonte  $h$

$\delta_t$  es el parámetro de sensibilidad que refleja el cambio en el precio de la opción ante el cambio en el valor del activo subyacente

$\Gamma_t$  es el parámetro de sensibilidad que refleja el cambio en el valor de la opción ante un cambio en la volatilidad

Los parámetros delta y gamma de las opciones proporcionan la respuesta del cambio del precio de la opción ante el cambio en el valor y la volatilidad del índice subyacente, del que depende el precio de las opciones ( $P$ ) en el modelo de valoración. El parámetro gamma puede expresarse también como segunda derivada del precio de la opción con respecto al valor del índice subyacente. Empleando la notación utilizada para una opción Call estándar, los parámetros se expresan:

$$\delta = \frac{\partial C}{\partial I}$$

$$\Gamma = \frac{\partial \delta}{\partial I} = \frac{\partial^2 C}{\partial I^2}$$

Las fórmulas de las derivadas parciales para cada tipo de opción que compone la nota estructurada son:

## 1. Para las opciones estándar europeas

### 1.1 Delta Call estándar

$$\delta_t^C = \frac{\partial C_t}{\partial I_t} = e^{-q(T-t)} N(d_1)$$

### 1.2 Delta Put estándar

$$\delta_t^P = \frac{\partial P_t}{\partial I_t} = -e^{-q(T-t)} N(-d_1)$$

### 1.3 Gamma Call y Put estándar

$$\Gamma_t^{C,P} = e^{-q(T-t)} \frac{1}{I_t \sigma_t \sqrt{(T-t)}} \frac{1}{I_t^{0,5d_1^2} \sqrt{2\pi}}$$

## 2. Para las opciones digitales europeas

### 2.1 Delta Call digital

$$\delta_t^{CD} = \frac{\partial CD_t}{\partial I_t} = Le^{-r(T-t)} \frac{1}{e^{0,5d_2^2} \sqrt{2\pi}} \frac{1}{I_t \sigma_t \sqrt{T-t}}$$

### 2.2 Gamma Call digital

$$\Gamma_t^{CD} = \frac{\partial^2 CD_t}{\partial I_t^2} = -Le^{-r(T-t)} \frac{1}{e^{0,5d_2^2} \sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_t \sqrt{T-t}}$$

### 2.3 Delta Put digital

$$\delta_t^{PD} = \frac{\partial PD_t}{\partial I_t} = -Le^{-r(T-t)} \frac{1}{e^{0,5d_2^2} \sqrt{2\pi}} \frac{1}{I_t \sqrt{T-t}}$$

### 2.4 Gamma Put digital

$$\Gamma_t^{PD} = \frac{\partial^2 PD_t}{\partial I_t^2} = Le^{-r(T-t)} \frac{1}{e^{0,5d_2^2} \sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_t \sqrt{T-t}}$$

### 6.3.2 VaR de la nota sin incorporar el ajuste por riesgo de contraparte

Como se ha puesto de manifiesto en el apartado 6.2, la nota estructurada analizada en este capítulo se puede valorar relacionando los flujos de liquidación en el vencimiento de la nota con una estructura de opciones vendidas y compradas por el comprador de la nota que proporcionarían flujos idénticos. El valor razonable de la nota es función del valor de las opciones, que es función del valor del subyacente. De igual manera, el valor en riesgo de la nota será función del valor en riesgo de las dichas opciones y del valor en riesgo calculado para el índice subyacente.

El VaR delta-gamma de una opción sobre un subyacente  $I$ , calculado en la fecha  $t$  para el horizonte  $h$ , será:

$$\text{VaR}_{t+h} = \delta_t(\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t(\Delta I_{t+h})^2$$

Donde  $\Delta I_{t+h}$  es el VaR del subyacente, el índice Eurostoxx, en nuestro caso y donde los signos de los parámetros delta y lambda dependen del tipo de opción estándar o digital y de compra o de venta, según se ha mostrado anteriormente.

El valor en riesgo de la nota estructurada  $\Delta V_{\text{VA}(Lt)}$  se expresa en función del valor en riesgo de la “cartera” de opciones.

$$\Delta V_{\text{VA}(Lt)} = \sqrt{(\text{VaR}_1 \quad \dots \quad \text{VaR}_9) \Omega_{9 \times 9} \begin{pmatrix} \text{VaR}_1 \\ \dots \\ \text{VaR}_9 \end{pmatrix}}$$

$\text{VaR}_1, \dots, \text{VaR}_9$  denotan los valores en riesgo de los ocho tipos de opciones identificadas en el proceso de valoración<sup>61</sup>.

---

<sup>61</sup> La estructura contiene ocho tipos de opciones, pero nueve valores en riesgo debido a que existen dos opciones put europeas vendidas. Por tanto, a la hora de calcular el valor en riesgo de la nota, el VaR de la put vendida computa dos veces.

$\Omega_{9 \times 9}$  representa la matriz de correlaciones, formada por los coeficientes de correlación entre las opciones de la cartera. Debido a que existe un solo activo subyacente, los coeficientes de correlación solo pueden ser 1 o -1:

- Entre las opciones estándar y digitales de compra el coeficiente de correlación es 1, igual que entre las opciones de venta.
- Entre una opción de compra y una de venta el coeficiente de correlación es -1.

Esto hace que la expresión anterior se pueda simplificar en la suma de los valores en riesgo de las opciones<sup>62</sup>. El signo asignado a los sumandos depende de los signos de los coeficientes de correlación.

$$\Delta V_{VA(Lt)} = \sum_{i=1}^9 VaR_i$$

Para expresar el VaR de la nota en términos del VaR delta-gamma para cada tipo de opción, se deben considerar los signos de los parámetros delta y gamma para cada opción y los movimientos del subyacente que corresponden a un escenario de pérdidas de valor de las opciones.

En las distintas opciones de la nota tanto los aumentos como las caídas en el valor del subyacente pueden producir pérdidas de valor, debido a que las opciones de compra aumentan su valor ante aumentos del subyacentes, mientras que el valor de las opciones de venta disminuye ante dichos aumentos. El impacto de la variación del subyacente en el valor de las opciones depende también de la posición que se tiene en cada opción de la manera siguiente:

- Opción de compra comprada

En el caso de las opciones *call* compradas (tanto estándar como digitales) un movimiento negativo del valor del subyacente lleva a registrarse una pérdida en la opción: al caer el valor del índice, disminuye el valor de la opción para el comprador. En la estructura de la nota

---

<sup>62</sup> Basado en las propiedades del cálculo de la varianza de una variable aleatoria que es combinación lineal de variables aleatorias independientes

analizada se han identificado dos opciones de compra compradas, una estándar y una digital (apartado 6.2).

- Opción de venta comprada

En las *put* compradas un aumento del subyacente genera una disminución del valor de la opción. Se han identificado tres opciones de venta compradas, dos digitales y una estándar.

- Opción de venta vendida

En las *put* vendidas es la disminución del subyacente la que genera una disminución del valor de la opción. En la nota existen cuatro opciones de venta vendidas (dos digitales y dos opciones estándar).

- Opción de compra vendida

En la nota analizada no existe ninguna opción de compra vendida, pero siguiendo el razonamiento, para las *call* vendidas (tanto estándar como digitales), la disminución del valor de la opción se produciría ante una variación positiva del valor del subyacente: ante un aumento en el valor del índice, aumenta el valor de la opción de compra vendida.

Por tanto, el VaR de la nota se puede expresar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{VA(Lt)} = & \delta_t^C (-\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^C (-\Delta I_{t+h})^2 + \delta_t^{CD} (-\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^{CD} (-\Delta I_{t+h})^2 \\
 & + (-\delta_t^{PD}) (\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^{PD} (\Delta I_{t+h})^2 + (-\delta_t^{PD}) (\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^{PD} (\Delta I_{t+h})^2 \\
 & + (-\delta_t^P) \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^P (\Delta I_{t+h})^2 + (-\delta_t^{PD}) (-\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^{PD} (-\Delta I_{t+h})^2 \\
 & + (-\delta_t^{PD}) (-\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^{PD} (-\Delta I_{t+h})^2 + (-\delta_t^P) (-\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^P (-\Delta I_{t+h})^2 \\
 & + (-\delta_t^P) (-\Delta I_{t+h}) + \frac{1}{2} \Gamma_t^P (-\Delta I_{t+h})^2
 \end{aligned}$$

Los superíndices C, CD, PD y P corresponden a los tipos de opción *call* estándar, *call* digital, *put* digital y *put* estándar. Siguiendo con la expresión anterior:

$$\begin{aligned}
\Delta V_{VA(Lt)} = & -\delta_t^C \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^C (\Delta I_{t+h})^2 - \delta_t^{CD} \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^{CD} (\Delta I_{t+h})^2 \\
& -\delta_t^{PD} \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^{PD} (\Delta I_{t+h})^2 - \delta_t^P \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^P (\Delta I_{t+h})^2 \\
& + \frac{1}{2} \Gamma_t^P (\Delta I_{t+h})^2 + \delta_t^{PD} \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^{PD} (\Delta I_{t+h})^2 + \delta_t^{PD} \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^{PD} (\Delta I_{t+h})^2 \\
& + \delta_t^P \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^P (\Delta I_{t+h})^2 - \delta_t^P \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^P (\Delta I_{t+h})^2
\end{aligned}$$

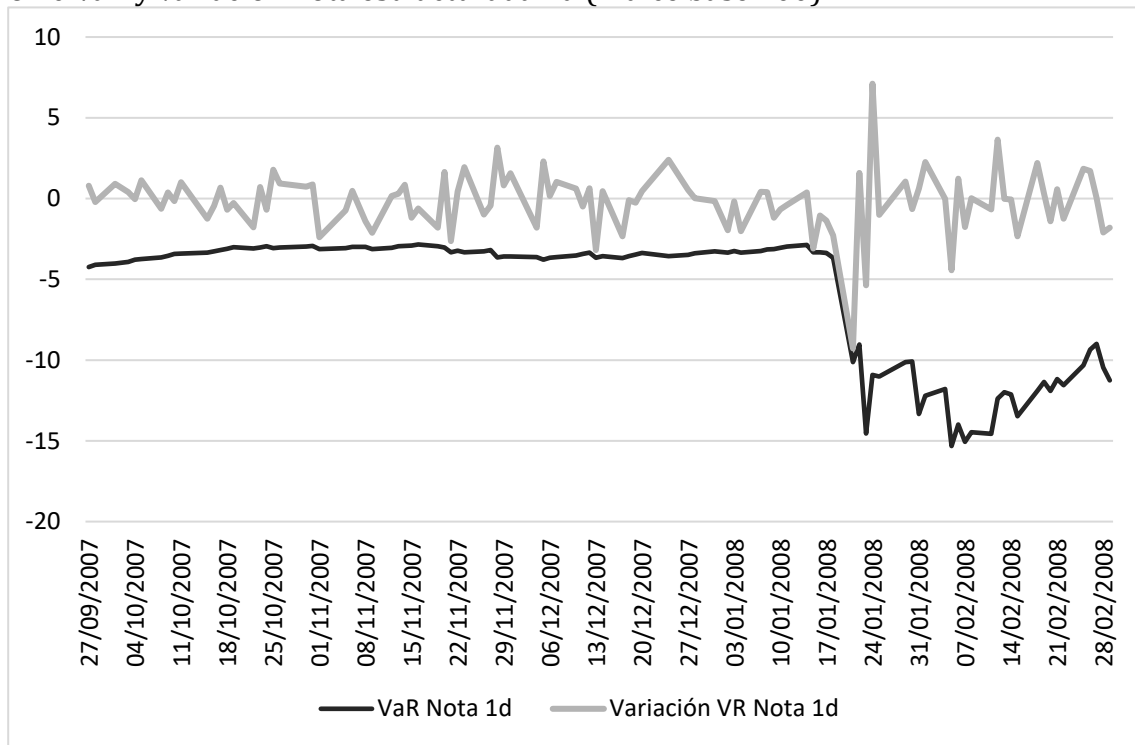
Después de cancelar los términos idénticos de signo contrario, esta expresión se simplifica en:

$$\begin{aligned}
\Delta V_{VA(Lt)} = & -\delta_t^C \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^C (\Delta I_{t+h})^2 - \delta_t^{CD} \Delta I_{t+h} + \frac{1}{2} \Gamma_t^{CD} (\Delta I_{t+h})^2 \\
& + 2\Gamma_t^{PD} (\Delta I_{t+h})^2 + \frac{3}{2} \Gamma_t^P (\Delta I_{t+h})^2 - \delta_t^P \Delta I_{t+h}
\end{aligned}$$

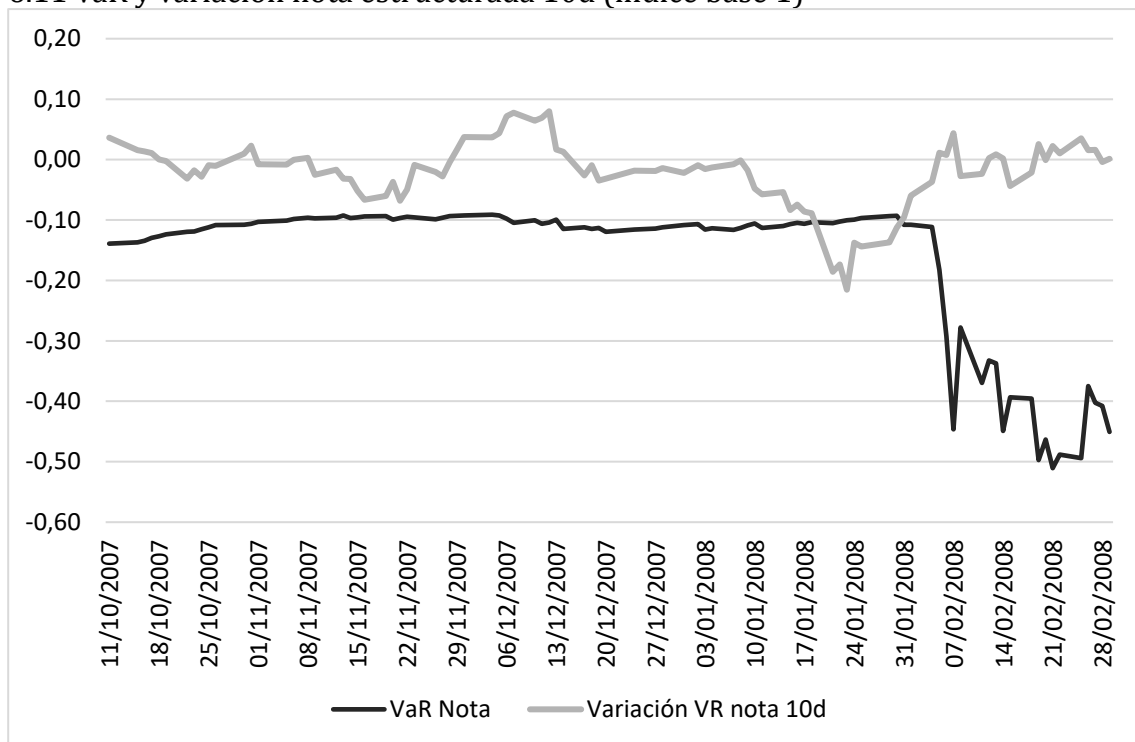
Partiendo de los valores de las opciones obtenidas con el modelo Black-Scholes y los VaR delta-gamma calculado para las mismas, obtenemos el VaR de la nota estructurada según el procedimiento expuesto en el apartado anterior. A efectos del cálculo del capital regulatorio, se utiliza el VaR a 10 días, calculado a partir de los VaR delta-gamma de las opciones a 10 días, que incorporan el VaR del índice Eurostoxx calculado para un horizonte de 10 días y un nivel de confianza del 99%.

En los Gráficos 6.10 y 6.11 se muestra el VaR y la variación de la nota a 1 día y 10 días.

#### 6.10 VaR y variación nota estructurada 1d (índice base 100)



#### 6.11 VaR y variación nota estructurada 10d (índice base 1)





En el periodo analizado las pérdidas a 1 día no superan el VaR calculado con horizonte diario. Las pérdidas a 10 días son superiores al VaR a 10 días en siete ocasiones: a lo largo de la semana 7-11 de enero y los días 14 y 15 de enero.

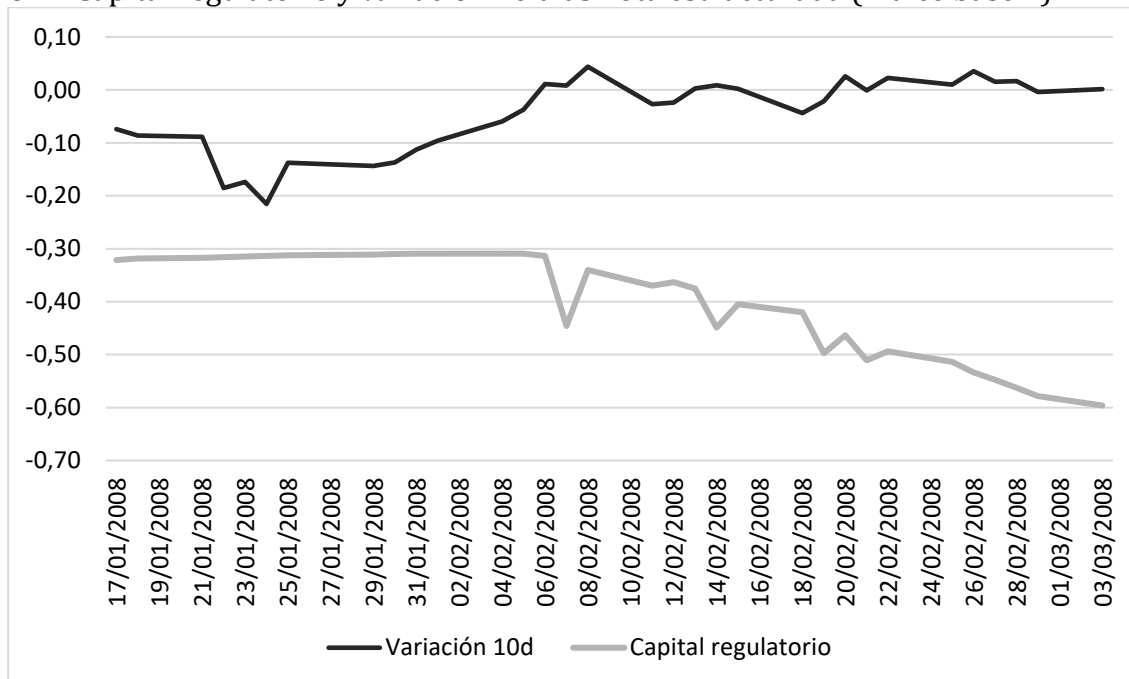
Para calcular los requerimientos de capital para la nota se utilizan la regla especificadas en la regulación, según la cual el capital mínimo regulatorio para cada opción será el valor más alto entre:

- el valor en riesgo del día anterior
- el promedio del valor en riesgo diario durante los 60 días hábiles anteriores, al que se aplicará un factor de multiplicación sujeto a un mínimo de 3

### 6.3.4 Capital mínimo regulatorio de la nota estructurada en base al valor razonable de la nota que no contempla el ajuste por riesgo de contraparte

El capital regulatorio se calcula en base al VaR de la nota a 10 días, siguiendo el procedimiento habitual. En el gráfico se observa que el capital es superior a las variaciones a 10 días en todo el periodo analizado.

6.12 Capital regulatorio y variación 10 días nota estructurada (índice base 1)



### 6.3.5 VaR de la nota incorporando el ajuste por riesgo de contraparte

A partir del modelo de valoración de una opción obtenemos el modelo VaR de la opción con riesgo de contraparte. Se denomina  $C$  al valor de la opción ajustado por riesgo de contraparte,  $C^*$  al valor de la opción sin ajustar,  $s$  al spread del vendedor de la opción y  $T$  al plazo hasta el vencimiento de la opción.

$$C = C^* e^{-sT}$$

Diferenciando la expresión anterior obtenemos:

$$dC = dC^* e^{-sT} + C^* (-T) e^{-sT} ds$$

La aproximación finita de la expresión anterior es:

$$\Delta C = \Delta C^* e^{-sT} - TC^* e^{-sT} \Delta s$$

$\Delta C$  depende de la variación del subyacente,  $I$  y podría existir una correlación positiva o negativa entre las variaciones del spread,  $\Delta s$  y las variaciones del subyacente,  $\Delta I$ .

Para estimar el VaR del *spread* modelizamos la variación relativa del spread  $\frac{\Delta s_t}{s_t}$  como una variable aleatoria con volatilidad condicional  $\sigma_t$ . Para un horizonte de  $H$  días, el VaR correspondiente a la variación del spread será<sup>63</sup>:

$$VaR(\Delta s) = s_t k(\alpha) \hat{\sigma}_t \sqrt{H}$$

Considerando un coeficiente de correlación  $\hat{\rho}$  entre las variables  $\Delta s$  y  $\Delta I$ , en el caso de una opción de compra el aumento del subyacente produce un aumento en el valor de la opción. El aumento del spread lleva a una disminución del valor de la opción. El VaR cuando  $\hat{\rho} > 0$ , es:

$$VaR(\Delta C) = \sqrt{VaR_{C^*}^2 + VaR_s^2 - 2\hat{\rho} VaR_{C^*} VaR_s}$$

$$VaR_{C^*} = e^{-st} VaR(\Delta C^*)$$

---

<sup>63</sup> Los resultados de los cálculos se presentan en el Anexo 32

$$\text{VaR}_s = \text{TCVaR}(\Delta s)$$

En el caso de una opción de venta el aumento del precio de subyacente produce una disminución del valor de la opción y el aumento del spread lleva a una disminución del valor.

Para  $\hat{\rho} > 0$ , el VaR de una *put* será:

$$\text{VaR}(\Delta C) = \sqrt{\text{VaR}_{C^*}^2 + \text{VaR}_s^2 + 2\hat{\rho}\text{VaR}_{C^*}\text{VaR}_s}$$

Para  $\hat{\rho} < 0$  el VaR de una opción de compra será:

$$\text{VaR}(\Delta C) = \sqrt{\text{VaR}_{C^*}^2 + \text{VaR}_s^2 + 2\hat{\rho}\text{VaR}_{C^*}\text{VaR}_s}$$

En el caso de una opción de venta:

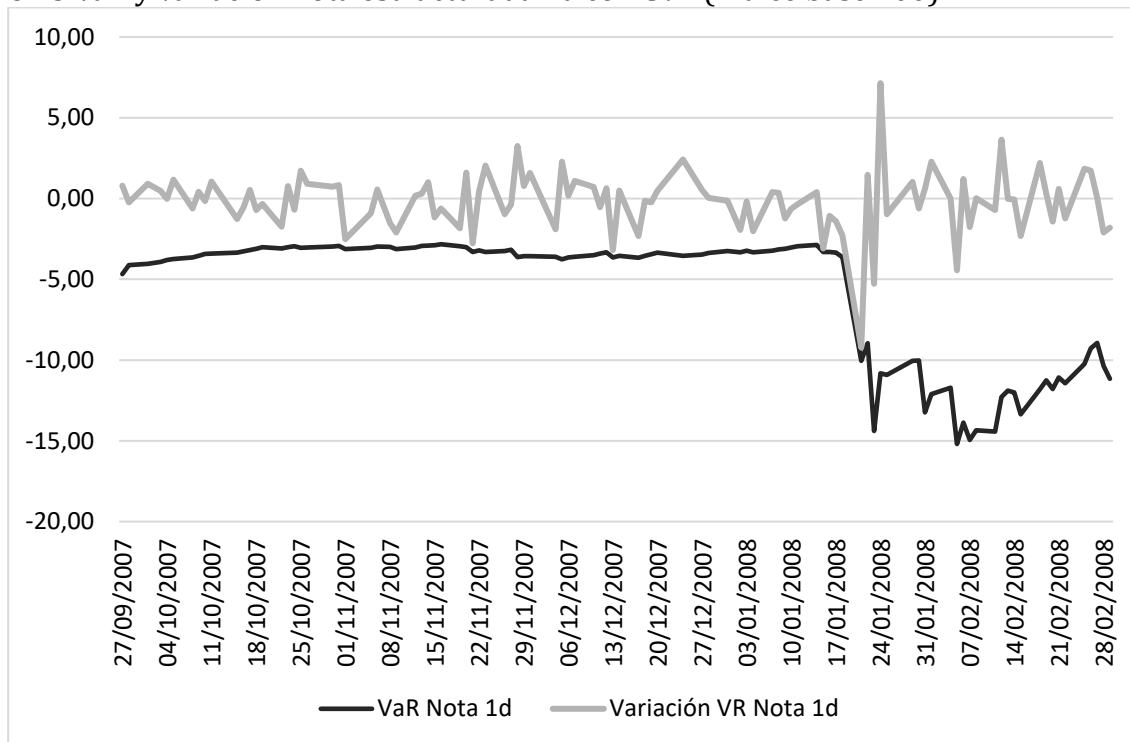
$$\text{VaR}(\Delta C) = \sqrt{\text{VaR}_{C^*}^2 + \text{VaR}_s^2 - 2\hat{\rho}\text{VaR}_{C^*}\text{VaR}_s}$$

Considerando un escenario conservador en el que  $\rho = 1$  podemos sumar al VaR de la opción el VaR procedente de la variación del *spread*:

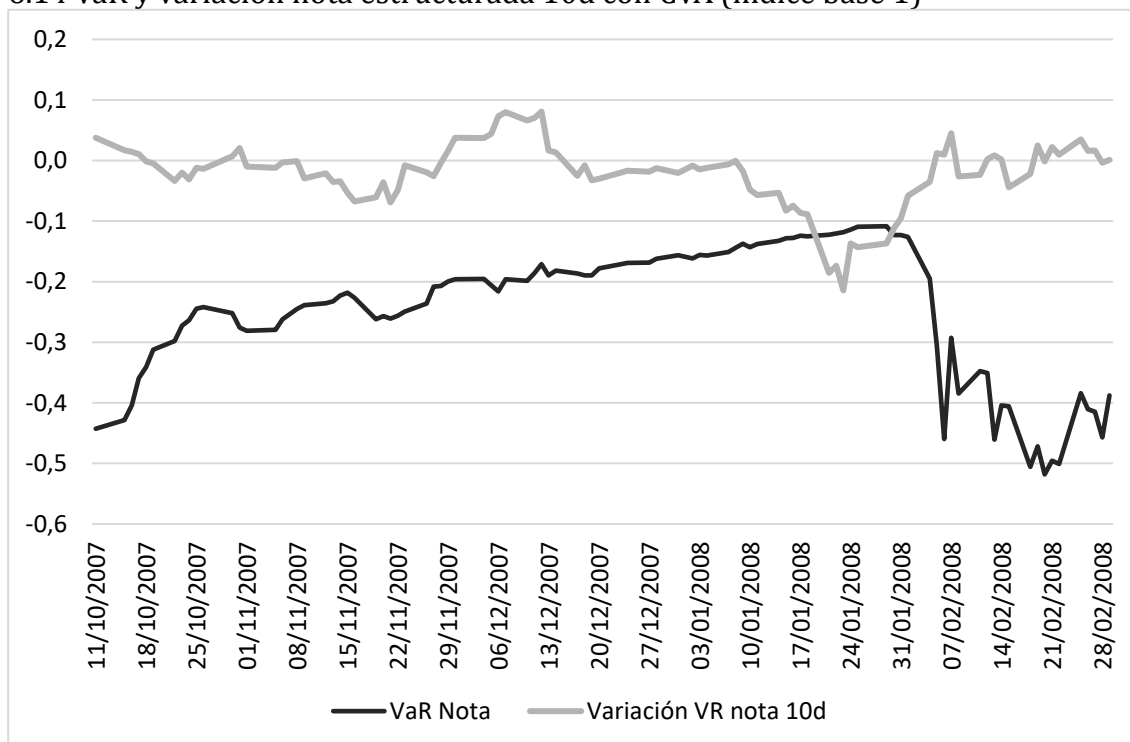
$$\text{VaR}(\Delta C) = \text{VaR}(\Delta C^*)e^{-sT} + \text{TCVaR}(\Delta s)$$

En las estimaciones presentadas a continuación se ha aplicado la última aproximación.

### 6.13 VaR y variación nota estructurada 1d con CVA (índice base 100)



### 6.14 VaR y variación nota estructurada 10d con CVA (índice base 1)

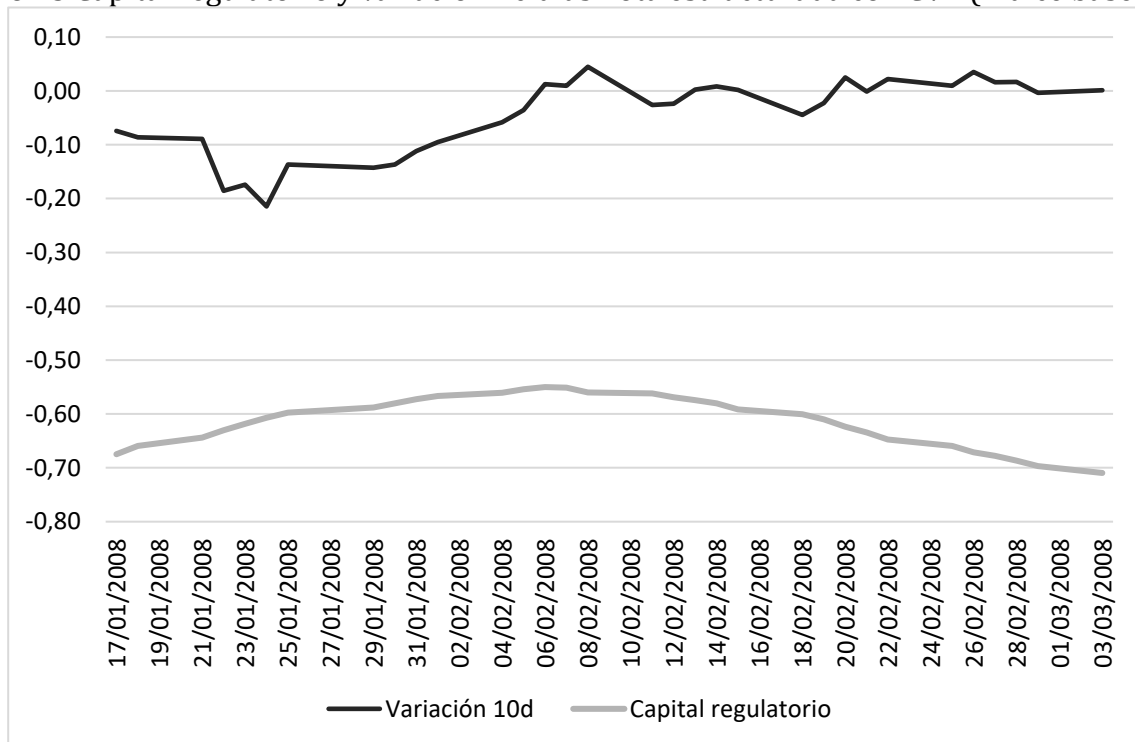


Las pérdidas registradas por variaciones negativas del valor razonable son superiores al VaR en siete ocasiones (idénticas a los excesos registrados por el VaR que no incorpora el VaR del spread del CDS): a lo largo de la semana 7-11 de enero y los días 14 y 15 de enero.

### 6.3.6 Capital mínimo regulatorio de la nota estructurada en base al valor razonable de la nota que incorpora el ajuste por riesgo de contraparte, considerando un coeficiente de correlación entre el spread y el subyacente igual a 1

Para calcular el capital regulatorio de la nota se utiliza el VaR de la nota calculado a partir de los VaR delta-gamma a 10 días de las opciones, donde a los VaR de las opciones compradas se les ha sumado el VaR del spread del CDS a 2 años de Lehman Brothers (basadas en el VaR del Eurostoxx con horizonte 10 días y nivel de confianza del 99%).

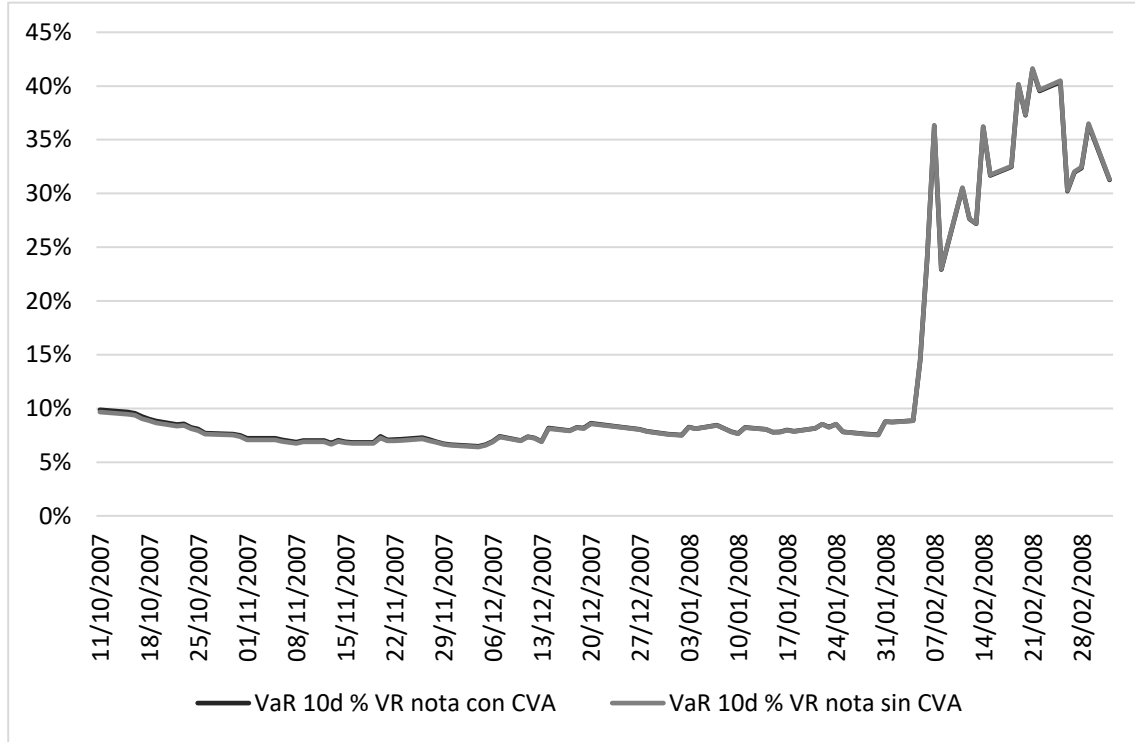
#### 6.15 Capital regulatorio y variación 10 días nota estructurada con CVA (índice base 1)



Se puede observar que la relación entre el VaR, la variación del valor razonable y el capital regulatorio son muy similares en los dos casos anteriores (cuando no se tiene en cuenta el riesgo de contraparte y cuando se incorpora en los cálculos de valor razonable y VaR). El Gráfico 6.16, a continuación, muestra la relación entre el VaR a 10 días y el valor razonable

diario de la nota en el caso analizado en esta sección y el VaR de la nota que no incorpora el VaR del spread del CDS. Se observa que los dos valores son casi coincidentes.

Gráfico 6.16 VaR a 10d como % del valor razonable



## 6.4 Conclusiones

El producto estructurado analizado en este capítulo se puede entender como una estructura compuesta por nueve opciones de compra y de venta, comprada y vendidas sobre el subyacente del contrato, el índice bursátil Eurostoxx 50. Estos instrumentos se denominan derivados implícitos y, en conjunto, replican la función de pago del producto estructurado en el vencimiento. Las opciones son de tipo estándar y digitales. Para valorar la nota estructurada, se ha calculado el valor razonable de los derivados implícitos utilizando el modelo de valoración Black-Scholes y posteriormente el valor de la nota, como suma de los valores de los derivados implícitos.

El modelo VaR para el producto estructurado se basa a su vez, en los modelos VaR de los derivados implícitos, en este caso, los VaR delta-gamma de las nueve opciones. El capital regulatorio calculado para la nota estructurada en base al VaR de la nota es suficiente para

absorber las pérdidas registradas en los dos meses en los que se realiza el presente ejercicio, caracterizadas por una caída importante del índice subyacente.

Debido a que los modelos de valoración no contemplan la existencia de riesgo de incumplimiento entre las contrapartes del contrato, en una segunda etapa del presente ejercicio, se ha incorporado en el cálculo del valor razonable un ajuste por dicho riesgo, siguiendo una metodología coherente con las prácticas generalmente aceptadas. Para realizar el ajuste, el valor del producto estructurado sin contemplar el riesgo de contraparte se multiplica por un factor que depende del spread del CDS de la entidad emisora del producto estructurado, el banco de inversión Lehman Brothers. El spread es, por tanto, un factor de riesgo debido a que sus movimientos se reflejan en los movimientos del valor del producto estructurado, junto con los movimientos del índice subyacente. Al calcular el VaR del producto ajustado por riesgo de contraparte, el spread se ha incorporado como un factor de riesgo adicional. Los valores de la nota con y sin ajuste de contraparte son muy próximos y el VaR que incorpora el spread, aunque ligeramente superior, es también muy próximo al VaR calculado sin este factor de riesgo. El capital regulatorio calculado para la nota en esta fase es también ligeramente superior al capital calculado sin tomar en cuenta el spread como un factor de riesgo de en VaR, por lo que, evidentemente es superior a las pérdidas de valoración registradas en el periodo analizado.

El producto estructurado está expuesto también a riesgo de liquidez que no se ha contemplado ni en la valoración, ni en el modelo de riesgo y para cuya inclusión en el procedimiento de valoración o de modelización de riesgo no existe ningún modelo generalmente aceptado. Adicionalmente, cualquier inversor cuya moneda funcional no fuera el dólar de Estados Unidos, estaría expuesto al riesgo procedentes de las variaciones del tipo de cambio euro-dólar, que se debería contemplar en el cálculo del VaR.

La trascendencia que ha tenido la materialización del riesgo de contraparte y de liquidez en la crisis se trata más ampliamente en el siguiente capítulo, y también las implicaciones para la regulación y las reformas emprendidas por el Comité de Basilea y otros cuerpos reguladores a raíz de la crisis.

# Capítulo 7. Más allá del riesgo de mercado

## 7.1 Introducción

En los cuatro capítulos anteriores se ha calculado el VaR diario de varias carteras de instrumentos financieros expuestos a riesgo de mercado a lo largo del periodo comprendido entre 2000-2014. Se han incluido en el estudio acciones del índice S&P 500, bonos del Tesoro de EEUU, bonos corporativos, bonos con riesgo de tipo de cambio y un producto estructurado con una estructura de opciones estándar y exóticas sobre el índice bursátil Eurostoxx 50. Partiendo de las pérdidas diarias estimadas con un modelo VaR paramétrico y dos técnicas distintas para estimar la volatilidad de las rentabilidades o tipos de interés de los instrumentos analizados, se ha calculado el capital regulatorio para dichos instrumentos con arreglo a las normas de Basilea II. Los resultados obtenidos muestran que los modelos VaR funcionan satisfactoriamente como base para el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado.

Sin embargo, en varios documentos publicados por el Comité de Basilea después del estallido de la crisis financiera se menciona que las pérdidas de las carteras de negociación de los bancos entre 2007-2009 fueron superiores al capital regulatorio mantenido para esta cartera (CBSB 2012; 2010b; 2009). Una de las conclusiones del Comité fue que los modelos VaR son inadecuados para el cálculo del capital regulatorio y en la reforma del marco regulatorio para riesgo de mercado basado en modelos internos, uno de los principales cambios es la introducción de una nueva métrica para calcular el capital regulatorio que reemplaza los modelos VaR.

Como se ha mostrado en el Capítulo 2 (Tablas 2.1 y 2.2), gran parte de los instrumentos valorados a valor razonable, son instrumentos de nivel 2 y 3, sin liquidez y que, por tanto, carecen de riesgo de mercado. Gran parte de estos instrumentos financieros se encuentran en las carteras de negociación y están expuestos a cambios en su valor razonable, dado que, al estar clasificados en dicha cartera, el registro inicial y la contabilización posterior debe realizarse a valor razonable. Pero en este caso no es posible obtener el valor del mercado, dado que estos instrumentos financieros prácticamente no se negocian en fechas posteriores



a la primera transacción. Para poder contabilizarlos a valor razonable es necesario utilizar los modelos de valoración adecuados a cada tipo de instrumento financiero, lo que implica, además de la elección del modelo, la estimación de determinados parámetros. Tanto por la elección del modelo como por las técnicas y muestras utilizadas para las estimaciones, los resultados obtenidos por diferentes gestores, pueden presentar una amplia variabilidad (Vilariño 2011a). Además, la utilización de un determinado modelo, aunque sea el generalmente aceptado, y los valores de los parámetros hallados, determinan una cuantificación del valor razonable, que puede estar muy alejada del precio de mercado del instrumento financiero, si hubiera sido el resultado de la oferta y la demanda en un mercado líquido, es decir, con un amplio número de oferentes y demandantes.

En todos los instrumentos financieros existe el riesgo de que una de las partes del contrato incumpla las obligaciones contractuales de pago. Este riesgo, denominado según el tipo de instrumento financiero, riesgo de crédito o riesgo de contraparte, presenta una gran dificultad de modelización, que se agrava cuando el instrumento carece de liquidez. Cuando el instrumento financiero se negocia en un mercado líquido, el precio de mercado es sensible, en mayor o menor medida, a las variaciones percibidas por los agentes del mercado a los cambios de calidad crediticia del emisor o contraparte del instrumento financiero. En los bonos soberanos y en los bonos corporativos, que cotizan con cierta frecuencia en los mercados secundarios, los precios de mercado son sensibles a eventos como los cambios de rating de los emisores, o las noticias positivas y negativas sobre la capacidad de generar flujos de efectivo por las contrapartes. Aunque las primas de riesgo no son una estimación precisa del riesgo de incumplimiento, proporcionan señales sobre la percepción del mercado de la calidad crediticia de las contrapartes. En los modelos VaR de riesgo de mercado sobre instrumentos de deuda se incorporan los efectos que sobre la volatilidad están originados por la componente crediticia.

Sin embargo, en los derivados OTC, no negociados con frecuencia, la opacidad sobre la calidad crediticia de las contrapartes es muy grande. A pesar de que las grandes contrapartes son en general entidades calificadas por las agencias internacionales, existe evidencia de los errores de las agencias de calificación, que además actúan de forma procíclica, justamente lo contrario de lo que en teoría debería ser una actuación de anticipación (Vilariño, Trillo, y

Alonso 2010). Durante la primera década del presente siglo, la irrupción de los *credit default swaps* (CDS), parecería que aporta una solución informacional a la estimación del riesgo de crédito y contraparte de los emisores. Sin embargo, existe una estrecha correlación entre los grados de las calificaciones de las agencias, las primas de riesgo de crédito de los instrumentos de deuda de las contrapartes y las primas de los *credit default swaps*<sup>64</sup>. En último extremo se trata de información redundante que está viciada en origen por el contexto de fondo de la información asimétrica y las dificultades insalvables de predecir la generación de flujos de efectivo de una entidad (banco o empresa no financiera) en un horizonte de medio y largo plazo.

Un caso especialmente crítico es el de los bonos originados por titulización de flujos de efectivo de instrumentos como hipotecas, créditos a empresas, bonos, tarjetas de crédito, ingresos de autopistas de peaje, y otros activos, en los que las calificaciones otorgadas a los bonos resultado de la titulización están sujetas a graves errores, y la posibilidad de valorar con fiabilidad dichos bonos a lo largo de su vida, es prácticamente imposible dada la ausencia de información sobre los instrumentos subyacentes. Además, en la reciente crisis, se han revelado fenómenos que sitúan los problemas en el ámbito de las responsabilidades penales.

Los datos proporcionados por el Comité sobre las pérdidas de las carteras de negociación, que se presentarán en el siguiente apartado, apuntan a que los instrumentos que registraron las mayores pérdidas fueron, con diferencia, productos sin liquidez y con exposición al riesgo de crédito y contraparte. Junto con esta información y en base a los resultados que se han presentado en los capítulos anteriores acerca del comportamiento de los modelos VaR en cuanto a la medición del riesgo de mercado, en este último capítulo se discutirá la idoneidad de las reformas emprendidas por el Comité en el marco regulatorio del riesgo de mercado y otras reformas que tienen relación con la regulación de otros riesgos que se han materializado en las pérdidas de las carteras de negociación.

---

<sup>64</sup> El Anexo 33 contiene algunos detalles y referencias esclarecedoras acerca de las características de los derivados de crédito y las titulizaciones (junto con información sobre otros instrumentos a los que se hará referencia en los apartados siguientes). El Anexo 34 contiene un esquema con las principales categorías de riesgo de un CDS y los eventos de riesgo asociados a cada categoría.

## 7.2 Pérdidas en las carteras de negociación a raíz de la crisis

Las pérdidas registradas por los bancos en los instrumentos de las carteras de negociación en los primeros años de la crisis pueden tener varias fuentes, según se sucedieron los acontecimientos a los que dio lugar la crisis financiera y según el impacto de los mismos, primero, en los instrumentos que los bancos tenían clasificados en la cartera de negociación y, segundo, en los instrumentos adquiridos o emitidos con posterioridad. El desplome de las bolsas en los momentos álgidos de la crisis, el aumento de los tipos de interés interbancarios a partir del verano de 2007, los incumplimientos de los emisores de bonos de titulización basadas en préstamos que entraron en mora o las caídas de los precios de la deuda pública de los gobiernos con alta calificación crediticia son, junto con muchos otros, posibles fuentes de pérdidas en las carteras de negociación.

La cuantía de las pérdidas de cada banco está determinada por el tipo de instrumentos que mantenía cuando estalla la crisis y sus características (liquidez, plazos, garantías, etc.), por cómo los acontecimientos comprendidos entre 2007 y 2009 afectaron a las variables de los que dependía el valor de estos instrumentos y también por las estrategias seguidas por cada banco a la hora de gestionar sus posiciones a raíz del estallido de la crisis: los momentos en los que realizan las ventas de los instrumentos que generan pérdidas, estrategias de mitigación de las mismas a través de coberturas para los productos sin liquidez, etc.

Algunos bancos lograron reducir sus pérdidas o incluso realizar ganancias importantes reduciendo, en los meses anteriores a la crisis, sus posiciones en instrumentos que pasarían a llamarse “tóxicos” después del verano de 2007. Entre principios y el verano del año 2007 algunos bancos vendieron los bonos de titulización del sector hipotecario *subprime* estadounidense que habían adquirido o cerraron sus posiciones vendedoras en los CDS sobre este tipo de activos. De esta manera algunos consiguieron evitar una parte importante de las pérdidas que los incumplimientos en el sector hipotecario les hubieran generado (Lewis 2011). En algunos casos, también tomaron la posición contraria a la que habían mantenido antes de la crisis (entrando como compradores en CDS sobre bonos de titulización de hipotecas), una estrategia que redundó en importantes ganancias para bancos como

Goldman Sachs<sup>65</sup>. El ejemplo contrario lo encontramos en entidades como Morgan Stanley, que en 2007 registró unas pérdidas de nueve mil millones de dólares debidas a la exposición de su mesa de negociación de titulizaciones al sector *subprime* (*ibid*, 215).

El concepto “activo tóxico” merece a su vez una aclaración, debido a que cualquier categoría de activos puede considerarse tóxica una vez que dichos activos pierden su valor, como pasó en el caso de las titulizaciones de hipotecas *subprime* o generan grandes pérdidas, como en el caso de los CDS vendidos sobre este tipo de títulos. En algunos casos, existen instrumentos tóxicos en origen, que es evidente en el momento en el que se emiten que van a generar pérdidas a los inversores al estar respaldados por activos de dudosa calidad, como lo fueron los préstamos *subprime* de Estados Unidos. Sin embargo, en otros casos, ciertos instrumentos se convierten en tóxicos, en sentido de que pierden gran parte o todo su valor, a raíz de determinados acontecimientos sobre lo que no existían indicios de que iban a ocurrir en el momento de la emisión. Estas pérdidas se producen porque existen evidencias de que no se van a cumplir las expectativas sobre las rentabilidades esperadas, sino todo lo contrario, es muy probable que ocurran pérdidas con una disminución relevante del capital invertido. Estos activos tóxicos siempre son la consecuencia de la imposibilidad de los prestatarios y obligados a cumplir el pago de las obligaciones contractuales expresadas en los contratos de deuda o en los contratos de derivados.

La desconfianza sobre la recuperación de la inversión realizada, genera fuertes presiones sobre la liquidez de los mercados, dada la práctica imposibilidad de encontrar compradores con ofertas de precios satisfactorios. La realización de “ventas forzadas” agrava la situación, dado que los precios negociados a la baja son la causa de una caída general de los activos en balance al valorarlos a precios de mercado. Esta situación pone en crisis las reglas contables y la aplicación del valor razonable.

Las pérdidas que los bancos registraron en las carteras de negociación dependen por tanto de la composición de estas carteras en el momento en el que estalla la crisis y su actuación a posteriori. Para conocer con exactitud el tamaño de las pérdidas en las que ha incurrido cada banco y las fuentes de las mismas haría falta realizar un seguimiento pormenorizado de la

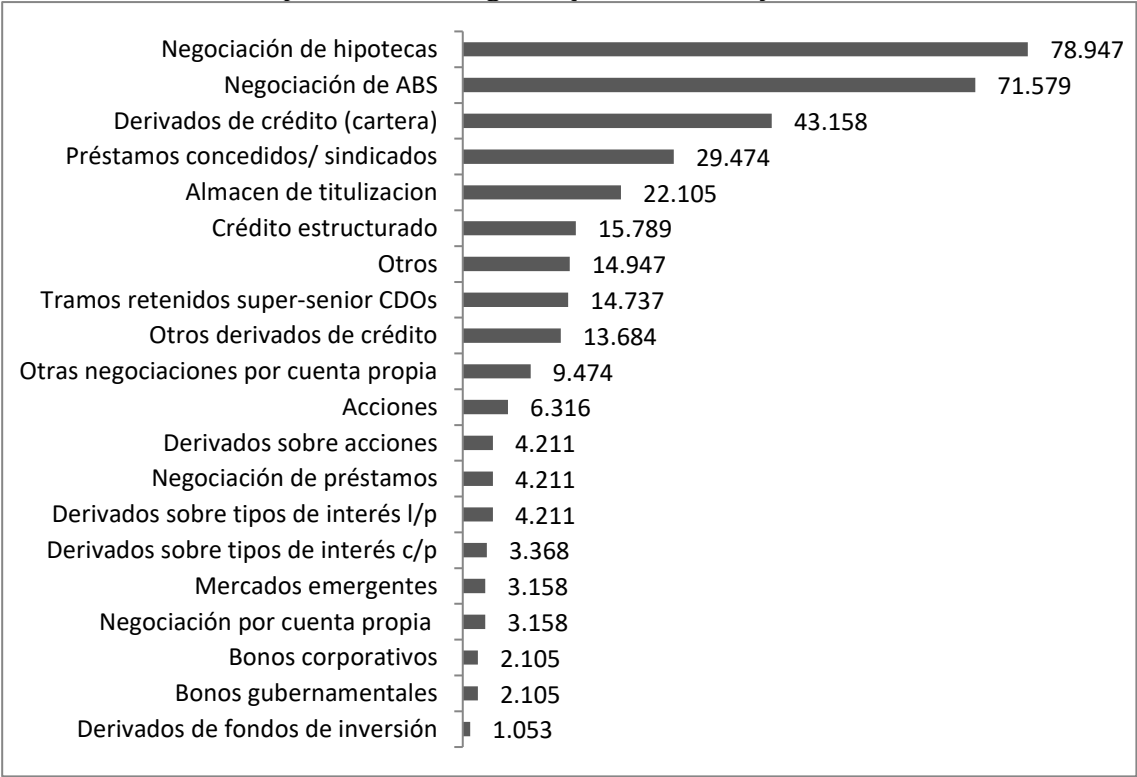
---

<sup>65</sup> Para más detalles acerca del momento en los que se producen estos movimientos véase Lewis (2011, 209).

composición de la cartera de negociación de cada entidad en el momento y después del verano de 2007. Dada la magnitud y complejidad de las carteras de negociación de los bancos activos en esta línea de negocio, esta tarea supondría grandes retos incluso para los reguladores con más recursos a su disposición.

Los datos que proporciona el Comité de Basilea con respecto a las pérdidas de las carteras de negociación son escasos y no permiten realizar el tipo de análisis detallado descrito en los párrafos anteriores. Sin embargo, sí dejan claro que las mayores pérdidas de las carteras de negociación se han registrado en instrumentos relacionados con las titulizaciones, los productos estructurados de crédito y otros instrumentos sin liquidez, cuyo valor no depende de la evolución de variables líquidas de mercado, sino del cumplimiento de los compromisos de pago de los acreditados últimos, los receptores de los préstamos titulizados. La primera propuesta de reforma publicada por el Comité contiene información sobre las pérdidas de las carteras de negociación, clasificadas por varias categorías de instrumentos, recogidos en el Gráfico 7.1.

Gráfico 7.1 Pérdidas por línea de negocio (Millones USD)



Fuente: CBSB (2012, Anexo 1, 58)

La información procede de 15 bancos internacionales anónimos: cinco entidades estadounidenses y diez entidades internacionales que operan en el Reino Unido, algunos con la matriz en el Reino Unido, pero no exclusivamente (CBSB 2012). Según este informe, entre 2007 y 2009 la mayor parte de las pérdidas totales registradas por los bancos encuestados se concentró en instrumentos de la cartera de negociación y los principales instrumentos que generaron pérdidas en dicha cartera están agrupados en las categorías: negociación de titulizaciones de créditos (hipotecarios y no hipotecarios), derivados de crédito, préstamos sindicados, préstamos pendientes de titulación mantenidos en la cartera de negociación y otros productos de crédito estructurados. Según la fuente citada, estos instrumentos concentran la mayor parte de las pérdidas. Solo a partir del puesto diez y con importes muy inferiores a las pérdidas procedentes de los instrumentos enumerados, podemos identificar instrumentos (posiblemente) líquidos con riesgo de mercado como acciones, bonos o derivados que podrían ser negociados en mercados organizados<sup>66</sup>. Por lo que el porcentaje de las pérdidas que podría tener que ver con la materialización del riesgo de mercado, producidas por las variaciones de variables líquidas como acciones negociadas en grandes volúmenes en bolsas, tipos de cambio, es muy reducido comparado con las pérdidas en titulizaciones y otros productos sin liquidez y cuyo valor depende a su vez de variables no observables (según los datos recogidos en el Gráfico 7.1). El informe no especifica cuál es la relación entre la magnitud de las pérdidas y el capital regulatorio que estas entidades mantenían para la cartera de negociación.

En otros documentos del Comité también se menciona la existencia de grandes pérdidas en las carteras de negociación y su relación con los instrumentos complejos y sin liquidez. En un documento publicado en 2010 se indica que “durante la crisis, muchos riesgos no estaban cubiertos en la regulación de los riesgos. Por ejemplo, muchos bancos mantenían niveles significativos de productos de crédito complejos y sin liquidez en sus carteras de negociación, sin una cantidad de capital que cubriera los riesgos de estos instrumentos” (CBSB 2010b, 4).

---

<sup>66</sup> La falta de detalles acerca de estos instrumentos no permite asegurar que tuvieran liquidez ya que también hay acciones y bonos poco o nada líquidos. A su vez, los derivados a corto plazo podrían negociarse en mercados organizados (donde suele haber más liquidez para plazos cortos), pero no se especifica.

El protagonismo de las pérdidas en los instrumentos relacionados con las titulizaciones o derivados de crédito que reflejan estos datos, no resulta sorprendente dado que es conocido que muchos bancos invirtieron masivamente en este tipo de instrumentos durante el periodo de inflamamiento de las burbujas inmobiliarias de Estados Unidos y de otros países, y es también conocido el alto nivel de incumplimiento de algunas de las categorías de préstamos subyacentes una vez pinchadas dichas burbujas. La comercialización de títulos basados en préstamos hipotecarios ha sido muy ligada a la burbuja inmobiliaria de Estados Unidos, pero la existencia de burbujas inmobiliarias en muchos otros países ha llevado a los bancos autóctonos a titularizar sus préstamos. El estallido de la crisis internacional empezó en EEUU y el desplome de las titulizaciones basadas en préstamos subprime estadounidenses fue un detonante para las crisis de otros países al llevar al colapso del mercado de titulizaciones a nivel internacional. Las pérdidas registradas por los bancos que adquirieron estos títulos pueden proceder de la exposición a burbujas de varios países y, por tanto, de incumplimientos de acreditados de distinta procedencia y naturaleza. Las titulizaciones han sido relacionados con el mercado hipotecario, pero también se titularon préstamos a otros sectores u otros tipos de activos. Las pérdidas podrían deberse a los incumplimientos de los prestatarios del sector *subprime* hipotecario o de promotores inmobiliarios, pero, en definitiva, se deben a incumplimientos de estos acreditados, no a la materialización del riesgo de mercado. Las cuantiosas pérdidas en las que incurren los bancos a raíz de la pérdida de valor de estos instrumentos en la crisis se deben a la pérdida de valor de los instrumentos respaldados por los flujos de efectivo abonados por los titulares de los préstamos subyacentes. Dichos flujos dejan de percibirse al aumentar los incumplimientos, por encima incluso de los niveles que hubiesen permitido seguir remunerando a los inversores que habían adquirido los tramos de calificación AAA procedentes de titulizaciones. Este hecho, junto con la imposibilidad de vender estos instrumentos o contraer coberturas para mitigar las pérdidas una vez que estalla la crisis, pone de manifiesto la mala gestión del riesgo de crédito y la insuficiente capitalización para éste riesgo y el riesgo de liquidez que los bancos estaban soportando en las certeras de negociación.

En relación con las pérdidas en las carteras de negociación, aparte de los documentos publicados por el Comité de Basilea, varias otras fuentes (informes publicados por

reguladores europeos o estadounidenses, memorias de bancos receptores de ayudas públicas, documentos de trabajo o intervenciones en foros internacionales de altos cargos de organismos regulatorios) relacionan la mayor parte de las pérdidas a la tenencia de productos sin liquidez y ligados a las titulizaciones de crédito y no a instrumentos con riesgo de mercado.

A modo de ejemplo, en un informe del año 2008, elaborado conjuntamente por supervisores bancarios de Estados Unidos, Francia, Alemania, Suiza y Reino Unido (SSG 2008), en base a una encuesta dirigida a once de los bancos y empresas de valores más relevantes a nivel internacional (más cinco otras empresas que participaron en las mesas de discusiones), se señala que la mayoría de las pérdidas en la segunda mitad del año 2007 se registraron en titulizaciones de hipotecas subprime de EEUU y especialmente en exposiciones a titulizaciones de préstamos sub-prime, por ejemplo tramos super-senior de CDO que algunas entidades habían decidido mantener y “que excedieron considerablemente su comprensión acerca de los riesgos inherentes”, llevando a que no se tomaran los pasos necesarios para controlar o mitigar esos riesgos. Se menciona también que dichas entidades han sufrido pérdidas importantes en estas posiciones, con implicaciones substanciales para sus resultados y capital<sup>67</sup> (SSG 2008). En ninguno de los casos la misma permite un análisis detallado de las posiciones de los bancos, o la calidad de su gestión interna, nivel de capital mantenido para la cartera de negociación, fuentes de las pérdidas, etc.

El hecho de que estas pérdidas hayan superado el capital regulatorio calculado para la cartera de negociación no es un argumento a favor de la inadecuación de los modelos VaR, que son una herramienta para la gestión del riesgo de mercado y el cómputo del capital regulatorio para este riesgo. Si estos instrumentos sin liquidez y expuestos al riesgo de incumplimiento fueron asignados a las carteras de negociación y el capital regulatorio para ellos se calculaba

---

<sup>67</sup> Se ha encontrado también información coherente con estos datos en un informe de la autoridad reguladora del Reino Unido (la extinta FSA) sobre la quiebra del banco Royal Bank of Scotland (RBS). En este informe se menciona gran parte de las pérdidas de la cartera de negociación se debieron a la tenencia de tramos *super-senior* de CDO y otros productos de crédito negociados (Financial Supervisory Authority 2011). Similarmente, en los informes que el banco UBS publicó después de registrar grandes pérdidas ocasionadas por las actividades de su banca de inversión y por la quiebra de Dillon Read, uno de sus fondos de inversión, los instrumentos que generaron más pérdidas estaban relacionado con el mercado de las titulizaciones de crédito hipotecario y los derivados de crédito, especialmente CDS. (UBS 2008; UBS 2010).



en base a los modelos VaR, los fallos son por un lado del marco regulatorio, que permitía estas prácticas. Por otro lado, como se ha comentado ya en el capítulo 2, la regulación anterior (Basilea II) especificaba que cualquier banco que calculase su capital para riesgo de mercado con un modelo VaR debía “contar con un sistema que le permita reflejar en su capital regulador el riesgo de incumplimiento de su cartera de negociación, *que se añade al riesgo recogido en el cálculo basado en VaR*”. Basilea II no hace ninguna prescripción acerca de los métodos que se deberían emplear para ello, y las normas se reducen a recomendaciones generales de “buenas prácticas”, que delegan en los supervisores nacionales la responsabilidad de velar por que los bancos cumplen estos principios generales de prudencia en sus prácticas diarias. En todo caso, dada la naturaleza de los instrumentos en los que el Comité apunta que se ha concentrado el grueso de las pérdidas, una conclusión más pertinente sería que son estos sistemas los que han fallado, no los modelos VaR.

### **7.3 Reformas de la regulación a raíz de la crisis financiera del año 2007**

Después del estallido de la crisis, el G20 y el Comité de Basilea, junto con otros cuerpos internacionales que emiten estándares y buenas prácticas para el sistema financiero y organismos reguladores nacionales, han impulsado reformas en varias áreas relacionadas con los riesgos de los instrumentos de la cartera de negociación.

A partir del año 2009, se han acometido importantes reformas de la regulación de todas las categorías de riesgo de Basilea II. El marco del riesgo de mercado ha sido modificado en su totalidad, tanto el método estándar, como el avanzado. El riesgo de contraparte ha cobrado una nueva dimensión en el marco de la regulación financiera internacional y actualmente se están elaborando nuevas normas encaminadas al establecimiento de cámaras de compensación y exigencias de garantías para las operaciones realizadas en los mercados OTC. El estado actual y el alcance de estas medidas se comenta en los siguientes apartados.

#### **7.3.1 Un nuevo marco para el riesgo de mercado**

El nuevo marco regulatorio para riesgo de mercado, que entrará en vigor en enero de 2019, introduce un nuevo método estándar y una nueva métrica para calcular el capital regulador para riesgo de mercado en el marco de los modelos internos. Los bancos que reciban la

autorización para emplear sus modelos internos en el cálculo del capital regulatorio podrán emplear esta nueva metodología, que se denomina *expected shortfall* (ES).

El VaR es la pérdida máxima estimada con un nivel de confianza y un horizonte temporal determinados. Pero el VaR no proporciona información sobre cuánto puede ser la magnitud de las pérdidas que se sitúan más allá del VaR. El ES se define como el valor esperado de las pérdidas, condicional a que la pérdida supera el VaR.

En Acerbi y Tasche (2002) se expone de forma resumida, pero suficiente, los conceptos de medida coherente de riesgo y expected shortfall. Si  $X$  es una variable aleatoria que describe el valor futuro de los beneficios y pérdidas de una cartera para un horizonte  $T$  dado,  $X$  se puede identificar con la variación del valor de la cartera, es decir, si el valor de la cartera en la fecha actual  $t$  es  $V_t$  y el valor desconocido en la fecha futura  $T$  es  $V_T$  entonces,  $X$  es igual a la diferencia entre  $V_T$  y  $V_t$ ,  $X = \Delta V_t = V_T - V_t$

Se define el VaR del modo siguiente: sea  $\alpha = A\%$  el porcentaje que permite definir una cola de los peores resultados posibles de la cartera. Se define

$$x^{(\alpha)}(X) = \sup \{x / P[X \leq x] \leq \alpha\}$$

Es decir, se trata del supremo (máximo) de todos los valores de  $X$  que están definidos por la condición  $P[X \leq x] \leq \alpha$ . Como estos valores serán negativos, aceptando que se trata de la cola de las pérdidas,  $\Delta V_t < 0$ , el VaR se define,

$$VaR^{(\alpha)}(X) = -x^{(\alpha)}(X)$$

También se podría haber definido,

$$x^{(\alpha)}(X) = \inf \{x / P[X \geq x] > \alpha\} \quad VaR^{(\alpha)}(X) = -x^{(\alpha)}(X)$$

Según Acerbi y Tasche (ibid) se puede decir que el VaR responde a la pregunta ¿Cuál es la mínima pérdida incurrida en el  $A\%$  casos de los peores casos de la cartera?, pero la pregunta se puede modificar del modo siguiente: ¿Cuál es el valor esperado de la pérdida en el  $A\%$  de los peores casos de la cartera? En el caso de que la función de distribución de la cartera sea continua, el estadístico que responde a la segunda pregunta es el valor de la esperanza

condicional de las pérdidas tomando como condición que las pérdidas sean mayores que el cuantil definido por el VaR. Esta esperanza condicional se denomina *tail conditional expectation* (esperanza condicional de la distribución de la cola), se abrevia **TCE** y se expresa mediante:

$$\text{TCE}^{(\alpha)}(\mathbf{X}) = -\mathbf{E} \left[ \mathbf{X} / \mathbf{X} \leq \mathbf{x}^{(\alpha)}(\mathbf{X}) \right]$$

El valor del *expeced shortfall* depende por tanto del valor calculado con un modelo VaR. La utilización de ES como métrica de riesgo condicional al VaR implica previamente la elección del modelo de VaR, por lo que el nuevo marco no elimina los problemas que suponen la supuesta inadecuación de los modelos VaR que detecta el Comité de Basilea en su diagnóstico de los fallos regulatorios a raíz de la crisis. Además, en la implementación del ES surge por lo menos un problema adicional, relacionado con el tipo de muestra necesaria para el contraste de las estimaciones realizadas, dado que las observaciones relevantes son las de la cola de la distribución. Esto supone que de cada 100 observaciones diarias, solo se seleccionan entre 2 y 3 para las muestras de contraste del ES (que se debe calcular al 97,5% de confianza).

En las nuevas normas para riesgo de mercado se establece un nivel mínimo para el capital regulatorio calculado con modelos internos basados en el ES. Este suelo está dado por el nivel de capital que se obtendría aplicando el nuevo método estándar. Esto elimina prácticamente los incentivos para aplicar los modelos internos basados en ES para calcular el capital regulatorio para el riesgo de mercado, en la medida en la que su implementación y mantenimiento son más intensivas en recursos que la aplicación del método estándar. Esta metodología a su vez, puede no ser la más adecuada para todos los bancos, en función de la composición de la cartera de cada uno.

Los resultados obtenidos en los capítulos anteriores y los datos presentados en el segundo apartado de este capítulo, ponen de manifiesto que la reforma del marco para riesgo de mercado es el resultado de un diagnóstico erróneo acerca de los factores que han generado las pérdidas registradas en los instrumentos de las carteras de negociación en la crisis financiera. Los fallos no han sido fallos de los modelos VaR en estimar las pérdidas por las variaciones de los precios de mercado de los instrumentos financieros, sino que han sido

fallos de los bancos en gestionar adecuadamente su exposición al riesgo de crédito y de liquidez resultante de las posiciones mantenidas en la cartera de negociación.

### **7.3.2 Riesgo de contraparte**

La crisis financiera, iniciada en 2007, puso de manifiesto la importancia de los riesgos de contraparte y la evidencia del riesgo sistémico derivado de las exposiciones que las entidades financieras mantienen unas con otras, e incentivó al Comité a realizar una profunda revisión de la regulación del riesgo de contraparte.

Durante muchos años no se prestó mucha atención al riesgo de contraparte, porque prevalecían las dificultades y el aprendizaje de los métodos de valoración de los nuevos instrumentos derivados, más que la evaluación de los riesgos presentes en los contratos. El Comité de Basilea, incluyó la regulación del riesgo de contraparte en Basilea II, en el contexto de los requerimientos de capital por riesgo de crédito de contraparte. Posteriormente, añadió más elementos analíticos y la regulación del riesgo de contraparte se convirtió en uno de los capítulos más complejos del edificio regulatorio.

El riesgo de contraparte presente en un contrato de derivados, se refiere al posible incumplimiento de las obligaciones contractuales de pago de las contrapartes. En casos como los forwards y los swaps, la posibilidad de incumplimiento está presente en las dos contrapartes. En el caso de las opciones, es el comprador el que tiene exposición al riesgo de contraparte. El riesgo de contraparte interactúa con los restantes riesgos, tales como los riesgos de mercado, crédito, operacional y liquidez. Los cambios de valor de un instrumento derivado es un factor importante del riesgo de contraparte, dado que modifica la exposición, e influye sobre la probabilidad de default, lo que aumenta la complejidad de la estimación de la función de distribución de las pérdidas. La modificación de la solvencia de las contrapartes, bien por razones exógenas como la situación general de la economía y los mercados financieros, como por factores endógenos, específicos de las contrapartes, tiene influencia sobre el cumplimiento de las obligaciones de pago de las contrapartes y, también, sobre las recuperaciones basadas en la ejecución de garantías o la realización en efectivo de los colaterales. El riesgo operacional está presente en todos los riesgos, al menos bajo la forma de riesgo de modelo, por lo que la complejidad de los modelos de valoración de los

derivados, y de los modelos de riesgo de contraparte, es una fuente importante de riesgo operacional, que a su vez es una dimensión del riesgo de contraparte. Por último, pero no menos importante, el riesgo de liquidez afecta a la valoración de los contratos y los colaterales, así como la mayor o menor facilidad para realizarlos en efectivo una vez que se ha dado el incumplimiento.

El riesgo de contraparte está presente en los instrumentos y operaciones financieras siguientes:

- Derivados OTC, entre los que destacan swaps de intereses (IRS), forwards y swaps de monedas, forwards de valores, credit default swaps y otros derivados de crédito.
- Repos
- Préstamos de valores
- Derivados negociados en mercados bursátiles
- Transacciones de valores con largos plazos de ejecución. Riesgo de contraparte en el caso de liquidación de contratos en los que el plazo para la liquidación es mayor que los plazos establecidos convencionalmente.

Las reformas a raíz de la crisis introducen nuevos métodos para calcular el capital regulatorio para esta categoría de riesgo y aumentan los requerimientos totales de capital. En la regulación de Basilea existe un método estándar y también métodos denominados “avanzados” para calcular el capital por riesgo de contraparte<sup>68</sup>. En el método estándar todos los parámetros relevantes los fija la regulación y la alternativa “avanzada” se basa en parámetros y modelos estimados por los propios bancos. En este segundo caso se exigen una serie de requisitos al banco sobre las bases de datos que son necesarias, las capacidades técnicas de los equipos de riesgo y una serie de pruebas para los modelos internos. Las diferentes metodologías existentes para el cálculo de los requerimientos de capital por riesgo de contraparte tienen como núcleo central la estimación de la exposición en fechas futuras a una contraparte que puede incumplir.

---

<sup>68</sup> La regulación actual comprende el documento publicado como Basilea III en el año 2011 (CBSB 2011b), y otras reformas publicadas con posterioridad a esta fecha. Para más detalles sobre el método estándar, que entrará en vigor en enero de 2017, ver CBSB (2014a). Los métodos avanzados de Basilea III entraron en vigor en 2013.

Para determinar los activos ponderados por riesgo se multiplica el saldo en balance de los activos que generan exposición al riesgo de incumplimiento de una contraparte por una determinada ponderación que depende de la calificación de la contraparte. Este cálculo es problemático sobre todo en el caso de los instrumentos derivados debido a que la exposición al riesgo es el valor del derivado en la fecha de incumplimiento y este valor futuro es desconocido; como también lo es la fecha del incumplimiento. El importe al que se le aplican los requerimientos de capital para riesgo de contraparte en el caso de los derivados se denomina “equivalente de crédito” y se obtiene como suma del valor razonable del derivado en la fecha actual (si es positivo) y del nominal del contrato multiplicado un factor que depende del subyacente del derivado y del plazo<sup>69</sup>.

Una de las novedades de Basilea III es la exigencia de un requerimiento de capital adicional para hacer frente a las posibles pérdidas de valoración en las que podría incurrir un banco como consecuencia del deterioro de la calidad crediticia de una de sus contrapartes. Este recargo de capital, denominado *credit valuation adjustment* (CVA) por el nombre que recibe el ajuste por riesgo de contraparte del valor de los derivados, es adicional al capital por riesgo de incumplimiento de las contrapartes y se calcula para los derivados OTC, con métodos estándar o avanzados. El ajuste del valor de los derivados por riesgo de crédito o contraparte surge debido a que muchos derivados OTC carecen de mercado secundario y el registro contable no puede basarse en precios de mercado. En este caso se utilizan modelos de valoración y, en general, estos modelos, no contemplan el riesgo de contraparte, sino únicamente el riesgo de mercado. El CVA trata de paliar esta diferencia. Al realizar un ajuste en el contexto de la estimación del precio, se utiliza la pérdida esperada como el concepto relevante y la probabilidad de incumplimiento corresponde a la categoría riesgo neutral<sup>70</sup>.

En uno de los primeros textos que modifica Basilea II (CBSB 2011b, párr. 14b), en un párrafo introductorio acerca del CVA, se comenta que en la crisis las pérdidas debidas al deterioro de la calidad crediticia de las contrapartes fueron mayores que las pérdidas debidas a incumplimientos efectivos. Pero no existe una división clara entre lo que es solo una rebaja

---

<sup>69</sup> El apartado 3.1.1 recoge algunos apuntes técnicos acerca de este procedimiento.

<sup>70</sup> Para más detalles acerca de la aplicación del ajuste por riesgo de contraparte, véase el capítulo 6, apartado 6.2.4. Para más detalles acerca de los requerimientos de capital por CVA ver CBSB (2011b, párr. 99-105)

de calificación crediticia y lo que se convertirá en un incumplimiento. Muchas entidades financieras que han experimentado rebajas de calificación han quebrado *de facto* y hubiesen quebrado también jurídicamente si no fueran rescatadas por gobiernos y bancos centrales. Las rebajas de calificación se llevan a cabo habitualmente en los momentos en los que hay un deterioro muy visible y la ocurrencia o no de una insolvencia en estos casos depende de una multitud de factores, como se ha visto en la quiebra de Lehman Brothers, un episodio que se tratará en el apartado 3.1.3 y que pone de manifiesto la complejidad de anticipar la ocurrencia o el momento de los incumplimientos. A la vez, en el capítulo 6 se ha puesto de manifiesto que los ajustes por riesgo de contraparte no modifican de modo significativo el valor razonable estimado sin dicho ajuste.

### **7.3.2.1 Conceptos básicos del riesgo de contraparte**

- Exposición

La exposición en la fecha del incumplimiento (default), EAD, es la máxima pérdida posible si la contraparte incumple. No coincide necesariamente con la pérdida efectiva o real, dado que pueden actuar los factores mitigantes, como garantías, colaterales, acuerdos de neteo, y los posibles acuerdos negociados posteriormente, que mitigan la pérdida máxima que podría haberse dado sin los anteriores efectos mitigantes.

La exposición se puede calcular en la fecha actual o en una fecha futura. La exposición actual y la exposición futura están íntimamente unidas al concepto coste de reposición. Si un contrato se incumple, el coste de reposición para la contraparte que ha sufrido el percance, es el importe que tiene que pagar para tomar una nueva posición que le proporcione los mismos derechos y obligaciones que tenía en el contrato dañado. Si en un contrato de opción, el vendedor es declarado en default antes del vencimiento de la opción, la contraparte compradora de la opción debe reponer la opción que en principio ha perdido, contratando una nueva opción que tiene un precio en el mercado y que ha de pagar. Si el incumplimiento de la contraparte tiene lugar en la fecha de liquidación, es obvio que la exposición es el importe de la liquidación, que es también el valor de la opción.

En la fecha actual una buena aproximación al coste de reposición es el valor del contrato, es decir, el valor razonable. El coste de reposición estará muy próximo a dicho valor, pero no

será idéntico, dado que dependerá de la horquilla entre los precios de oferta y demanda y la liquidez del mercado. Además, pueden existir factores específicos determinados por la calidad crediticia de las contrapartes.

En el caso de la exposición en una fecha futura, se trata de una magnitud desconocida. Se tratará de modelizar como una variable aleatoria, asignando una determinada distribución de probabilidad en la fecha futura. A partir de esa hipótesis se podrán calcular diferentes estadísticos, tales como media, varianza, percentiles, que estarán sujetos al riesgo de modelo.

- Probabilidad de default

Aquí el término default se refiere al evento definido por el incumplimiento del pago de una obligación contractual. Podría darse el caso de que una contraparte protagonice un evento de default antes de la fecha en la que existe la obligación de pago, como es el caso de un banco (Lehman Brothers) que quiebra, y existen contratos de los que es contraparte, aunque en muchos casos no han llegado todavía al vencimiento. En ese caso no ha existido incumplimiento del contrato, pero las propias cláusulas de los contratos, establecen la obligación de liquidar el contrato con su valor de mercado. Pero sea cual sea el arreglo contractual, la contraparte con derechos económicos positivos estará sufriendo el evento de default, aunque todavía la falta de pago no haya tenido lugar. En otros casos el incumplimiento de pago acontece en la fecha en la que una de las contrapartes tiene que realizar un pago en efectivo, sea intermedio, como en los swaps, o sea en el vencimiento del contrato.

La probabilidad de default (PD), se refiere a la probabilidad de que el evento incumplimiento de la contraparte tenga lugar. La probabilidad es un concepto matemático bien definido, pero de una gran dificultad para ser aplicado en un el contexto de la economía financiera. La estimación de las probabilidades de default de una contraparte para diferentes horizontes temporales no es una tarea resuelta, a pesar de la abundante literatura<sup>71</sup> sobre el tema.

---

<sup>71</sup> Véase, por ejemplo, Brigo et al. (2013) y Hull y White (2012; 2014).



Existen graves problemas informacionales y por la naturaleza del fenómeno, no es posible realizar experimentos controlados, para poder aplicar con rigor los métodos estadísticos para estimar este parámetro, que es crítico en todos los modelos de riesgo de crédito y contraparte. Es uno de los factores más importantes de riesgo de modelo para el riesgo de contraparte.

- Tasa de pérdida dado el default

Se define por el cociente entre la pérdida efectiva y la exposición en la fecha de default. Se denomina LGD (*loss given default*)

$$\text{LGD} = \frac{\text{LE}}{\text{EAD}} \quad (1)$$

LE, la pérdida efectiva, es el resultado de aplicar el efecto, en su caso, de garantías y colaterales, y recuperar la liquidez. Pero debe calcularse teniendo en cuenta el tiempo transcurrido entre la fecha de incumplimiento y la fecha de recuperación de la liquidez. También, es necesario incluir los costes incurridos en las recuperaciones, que deben actualizarse hasta la fecha del incumplimiento, con la tasa de interés apropiada.

### 7.3.2.2 Métricas de la exposición

El riesgo de contraparte se calcula en dos ámbitos bien diferenciados. El primero es el ámbito de la valoración de los contratos, y es en este ámbito en el que nace el concepto CVA, es decir, un ajuste al valor del derivado, para introducir la contingencia del riesgo de contraparte. Recordemos que en el ámbito de la valoración la pérdida que debe calcularse es la pérdida esperada. El segundo ámbito es el de los requerimientos de capital para cubrir las pérdidas extremas o pérdidas inesperadas. Lógicamente, la exposición en el primer ámbito hará referencia a una exposición media, que se detallará más adelante, mientras que en el segundo caso será una exposición extrema, también definida más adelante.

Para calcular la exposición, se supone conocida la distribución del valor del contrato en una fecha futura. Definir tal distribución es una de las piezas esenciales en la construcción de los modelos de riesgo de contraparte. Esta etapa es compleja, porque si se trata de un derivado, que es el caso más frecuente en el ámbito del riesgo de contraparte, el valor depende de una o varias variables subyacentes, cuya distribución será esencial para la modelización de la

distribución del valor del derivado. En general si el precio de un derivado en una fecha futura  $T$ , depende de un conjunto de variables, algunas en  $T$ , y en otros casos, no solo en  $T$  sino en valores posteriores a  $T$ , como es el caso de un swap, tendremos que si denominamos  $\tilde{f}_T$  la variable aleatoria que representa el valor del derivado en  $T$ , y denominamos  $\mathbf{X}_{i,T+h}$  el vector de las variables subyacentes, donde  $i = 1, 2, \dots, n$  se refiere a cada variable, y  $h$  los diferentes tiempos en el los que el valor de la variable subyacente es relevante para la obtención de  $\tilde{f}_T$ , según un determinado modelo de valoración, tenemos que la distribución de  $\tilde{f}_T = f(\mathbf{X}_{i,T+h})$  puede resultar enormemente compleja y dependiente de parámetros de difícil estimación.

Además, es relevante la distinción entre probabilidad riesgo neutral y probabilidad natural. Por ejemplo, si el contrato derivado es una opción de compra estándar europea, y la variable subyacente de una acción cotizada, los modelos de valoración generalmente aceptados, suponen que la variable subyacente, el precio de la acción, se puede modelizar mediante un movimiento browniano geométrico de la forma

$$dS = (\mu - q)Sdt + \sigma SdW \quad (2)$$

Donde  $\mu$ , deriva,  $\sigma$ , volatilidad, y  $q$ , tasa de dividendos son parámetros constantes, pero no observables, que por lo tanto será necesario estimar,  $S$  es el precio del activo,  $dt$  es el diferencial de tiempo y  $dW$  es un proceso Wiener estándar.

Es posible obtener, integrando la ecuación diferencial estocástica, que la relación entre el precio de la acción en una fecha  $T$  y otra fecha  $t$  ( $T > t$ ) está dada por.

$$S_T = S_t \exp \left[ ((\mu - q) - 0.5\sigma^2)(T - t) + \sigma\sqrt{T - t} \varepsilon_T \right] \quad (3)$$

Donde  $\varepsilon_T$  es una variable normal estándar. El logaritmo del precio en  $T$  es una variable lognormal, condicional al valor del precio en  $t$ . Esto permite establecer el precio de la opción en cualquier fecha, aceptando el modelo de Black-Scholes. En el caso de que la fecha  $T$  fuese la fecha de vencimiento de la opción, el valor de la opción coincide con la liquidación.

La exposición, que la hacemos coincidir con el valor de la opción, en el ámbito del cálculo del CVA, se rige por la probabilidad riesgo neutral, donde la deriva  $\mu$  es igual al tipo de interés libre de riesgo al plazo  $T-t$ . En ese caso la ecuación (3) es

$$S_T = S_t \exp \left[ ((r - q) - 0.5\sigma^2)(T - t) + \sigma\sqrt{T - t} \varepsilon_T \right] \quad (4)$$

Y la variable aleatoria que define la exposición en la fecha de vencimiento de la opción es

$$C_T = \text{Max}(S_T - E, 0) = \text{Max}(S_t \exp \left[ ((r - q) - 0.5\sigma^2)(T - t) + \sigma\sqrt{T - t} \varepsilon_T, 0 \right] \quad (5)$$

Mientras que, si la exposición se calcula como una variable necesaria para los requerimientos de capital, vendría dada por:

$$C_T = \text{Max}(S_T - E, 0) = \text{Max}(S_t \exp \left[ ((\mu - q) - 0.5\sigma^2)(T - t) + \sigma\sqrt{T - t} \varepsilon_T, 0 \right] \quad (6)$$

La estimación de  $\mu$  no es posible<sup>72</sup>, porque en ese parámetro se concentra una gran parte de la incertidumbre sobre el comportamiento futuro del precio de la acción. En la práctica se adoptarán diversas hipótesis, incluso la de utilizar el mismo modelo que en el ámbito de valoración, pero en definitiva constituye un eslabón más del riesgo de modelo, y de la necesidad de complementar los modelos de riesgo con las pruebas de sensibilidad a las hipótesis aceptadas, y la realización de pruebas rigurosas de estrés.

- Valor razonable esperado

En la operativa de mercado es más habitual hablar de *Mark to Market* (MtM) que de valor razonable, aunque en este contexto los podemos considerar términos idénticos. El valor razonable esperado es la esperanza matemática de la exposición. Si se trata de la exposición actual coincide con el precio de mercado del contrato, pero si se trata del valor esperado en una fecha futura T, será,

$$\text{EMtM} = E_t \left[ \tilde{f}_T \right] \quad (7)$$

Por ejemplo, en el caso de la opción en el vencimiento, será.

$$\text{EMtM} = E_t \left[ \text{Max}(S_T - E, 0) \right] \quad (8)$$

---

<sup>72</sup> Por supuesto que se puede estimar mediante los valores históricos pero el resultado tiene poco que ver con el comportamiento futuro del parámetro estimado.

y por eso es necesario conocer la distribución de  $S_T$ . Sin embargo, en este caso, el precio de la opción en la fecha actual  $t$ , viene dado, bajo la medida de probabilidad riesgo neutral, por la expresión,

$$C_t = \exp[-r(T-t)] E_t [\text{Max}(S_T - E, 0)]$$

$$EMtM = E_t [\text{Max}(S_T - E, 0)] = \exp[r(T-t)] C_t \quad (9)$$

La exposición esperada en una fecha futura es el valor actual del derivado, capitalizado hasta la fecha futura con el tipo de interés libre de riesgo.

- Exposición actual

La exposición actual corresponde al valor razonable del contrato, si dicha exposición es positiva. Esto es, la exposición actual EA, es el mayor valor entre el valor de mercado del contrato y cero.

$$EA = \text{Max}(MtM_t, 0) \quad (10)$$

- Exposición esperada EE

La exposición esperada es la esperanza de la exposición en una fecha futura determinada. Para la determinación de la exposición esperada, EE, será necesario disponer de una determinada distribución de la exposición en la fecha futura. La distribución la suministra el modelo de valoración del contrato derivado.

- Exposición futura potencial (PFE, *potential future exposure*)

La exposición en una fecha futura se considera determinada por una variable aleatoria, a la que se le asigna una determinada distribución de probabilidad. La exposición potencial futura (PFE) viene dada por un valor que corresponde a un determinado nivel de confianza. En general, se trata de un nivel de exposición determinado en un escenario crítico, es decir, correspondiente a un valor extremo de la exposición.

- Exposición positiva esperada (EPE, *expected positive exposure*)

La exposición positiva esperada, EPE, se refiere a la esperanza de la exposición futura considerando únicamente la exposición cuando es positiva. Por ejemplo, en un swap existen

exposiciones positivas y negativas, al igual que en un forward. Si se calcula la esperanza de la variable exposición, sin considerar el signo, será un valor menor que si solo se considera la distribución de la exposición cuando toma un valor positivo. Los diferentes conceptos de exposición proporcionan diferentes estadísticos para el riesgo de contraparte.

### **7.3.2.3 Lehman Brothers: riesgo de contraparte y riesgo sistémico en la crisis financiera**

Aunque la estimación de las pérdidas por riesgo de contraparte se realizara con los mejores criterios, la historia reciente proporciona una experiencia que pone de manifiesto la dificultad de anticipar un incumplimiento o sus consecuencias: la quiebra del banco de inversión Lehman Brothers en septiembre de 2008. Este episodio marcó uno de los momentos álgidos de la última crisis financiera y puso de manifiesto la virulencia del denominado “riesgo sistémico”, un riesgo considerado residual y menguante en los años anteriores a la crisis, en la medida en la que los bancos iban adoptando los enfoques “avanzados” que la regulación ponía a su disposición para calcular el capital regulatorio, y que se basaban en los modelos internos de riesgo o modelos diseñados por los reguladores, pero con parámetros estimados internamente por los bancos. La pertinencia de los modelos de riesgo no reside en que sean modelos internos o estandarizados o en los adjetivos que los acompañan y que aparentemente sugieren la superioridad de unos sobre otros (como “avanzados” versus “básicos”, con los primeros siendo los que permiten la estimación interna de más parámetros, en el caso de los modelos IRB, por ejemplo). Sino que depende de las características de los eventos que se busca modelizar y la disponibilidad de datos relevantes para ello. La quiebra de Lehman Brothers es un estudio de caso muy relevante acerca de la dificultad de estimar parámetros como las probabilidades de incumplimiento en base a los datos de mercado y las implicaciones imposibles de modelizar de una quiebra de estas magnitudes. La quiebra se produce en un clima en la que la crisis financiera ya había estallado y en los que las autoridades públicas estadounidenses habían apoyado con fondos y gestiones activas la adquisición del banco de inversión Bear Stearns por J. P. Morgan para prevenir su quiebra y otras entidades estaban a su vez bajo sospecha al haber adquirido en

los años de burbuja una fuerte exposición a instrumentos relacionados con el sector hipotecario<sup>73</sup>.

Lehman Brothers era una de estas entidades sobre cuya viabilidad se habían instalado dudas, pero su quiebra no fue prevista ni por los analistas de mercado, ni por las agencias de calificación o las empresas de auditoría u otros agentes relevantes con supuesta capacidad para realizar este tipo de previsiones en base a la información disponible. El 15 de septiembre de 2008 es el día en que Lehman Brothers inicia los trámites de insolvencia, tras las negociaciones fallidas entre las autoridades reguladoras estadounidenses y los potenciales compradores de Lehman, otras entidades financieras privadas, y es un evento que podría no haberse producido si dichas negociaciones se hubiesen desarrollado con éxito o si la Reserva Federal o el Tesoro de Estados Unidos hubiesen anticipado el efecto que tendría la quiebra y hubiesen decidido rescatar directamente a la entidad, como harían posteriormente no solo con bancos comerciales y de inversión, sino también con fondos de inversión o empresas de otros sectores industriales.

Fernández y Aguirreamalloa (2012) analizan 106 informes de analistas financieros de distintas instituciones sobre Lehman y muestra que, en los meses anteriores a la quiebra, entre enero y septiembre de 2008, solo uno de los informes recomendaba vender las acciones de Lehman. El resto aconsejan comprar o mantener las acciones. El mismo artículo analiza también la evolución de la cotización de Lehman y del *rating* de su deuda, la evolución del *spread* del CDS de Lehman y las cuentas auditadas de esta entidad y varias publicaciones de la Comisión Nacional del Mercado de Valores<sup>74</sup> para poner de manifiesto que ninguna de las variables de mercado u otra información pública disponible acerca de la entidad indicaban la inminencia de un *default*. Se muestra, por ejemplo, que antes de la quiebra, las primas de riesgo de los CDS sobre Lehman Brothers a distintos plazos estaban en valores próximos a

---

<sup>73</sup> Blinder (2013) hace un minucioso relato de la actuación de la Reserva Federal y del Tesoro de EEUU ante los acontecimientos desatados por la crisis, tanto antes de la quiebra de Lehman Brothers, como posteriormente y del carácter improvisado de muchas de las medidas adoptadas, de las que, algunas resultaron más exitosas que otras. Evidentemente, dejar caer a Lehman Brothers se inscribe en la segunda categoría.

<sup>74</sup> Según este organismo, la quiebra de Lehman afectó a 459 instituciones de inversión colectiva españolas y tuvo un impacto de 300 millones de euros. A la vez, en un informe de 2008, se pone de manifiesto que la CNMV tampoco detectó la inminencia de la quiebra al afirmar que “sucesos como la quiebra de Lehman [...] obligaron a destinar recursos no previstos a la estimación y seguimiento de sus efectos”. (Fernández y Aguirreamalloa 2012, 5).

otras entidades financieras que no han quebrado. Además, en el periodo anterior no se detecta ningún empeoramiento de la calificación crediticia de la entidad, más allá de la que registran otras entidades financieras que, aunque hayan sido rescatadas, oficialmente no han quebrado.

El efecto de la quiebra de Lehman Brothers se ha hecho notar en todos los mercados<sup>75</sup> lo que se debe a las consecuencias negativas que tiene el impago de una entidad en sus clientes y contrapartes, como podría ser cualquier banco que hubiera invertido en los productos estructurados o en los bonos emitidos por el banco de inversión, las entidades que le habían concedido préstamos o que tuvieran pendientes liquidaciones de derivados con éste. La incertidumbre sobre la solvencia de los bancos en un contexto como el de septiembre de 2008 ha hecho que la quiebra de una entidad de un tamaño relativamente reducido, como lo era Lehman Brothers, desencadenara el pánico en los mercados financieros. Uno de los elementos desconocidos que salió a la luz después de la quiebra fue la exposición que mantenía con Lehman Brothers uno de los fondos más antiguos del mercado monetario de Estados Unidos, que había invertido masivamente en bonos a corto plazo emitidos por Lehman. El pánico desatado por la quiebra de Lehman llevó a una retirada masiva de los inversores de dicho fondo y otros fondos del mercado monetario, una caída en picado de los precios de los bonos a corto plazo (de bancos y empresas), y el desplome de la demanda para estos bonos (que había sido procedente en gran medida de dichos fondos que estaban experimentando retiradas masivas). El corte de esta fuente de liquidez que era esencial para que muchas empresas y bancos hicieran frente a sus pagos corrientes extendieron el peligro de las quiebras y la necesidad de rescates públicos más allá de las entidades financieras (Blinder 2013, cap. 5).

El riesgo sistémico se deriva de las conexiones entre las entidades financieras y los efectos de las quiebras o incumplimientos de unas entidades sobre otras. La incertidumbre acerca del impacto que podría tener una quiebra es un factor que amplifica las reacciones adversas (retiradas de depósitos, venta de las acciones y bonos de otros bancos o empresas, etc.), que

---

<sup>75</sup> Véase, por ejemplo, las caídas en los precios de los activos y el aumento de las volatilidades de las rentabilidades, tipos de interés y de cambio estimadas en ese periodo para las series empleadas en los cálculos de los capítulos anteriores.

pueden afectar a otras entidades que, de otra manera, no hubieran experimentado problemas, o por lo menos no en la misma medida. Este hecho se debe en gran medida, a que los bancos son entidades opacas tanto para el público general, como para otros agentes especializados, como pone de manifiesto la quiebra de Lehman. La información pública procedente de las memorias anuales y los balances a fin de año o los datos de mercado, como las primas de riesgo o el precio de las acciones, hacen imposible que agentes externos puedan analizar detalladamente el perfil de riesgo de una entidad.

### **7.3.3 Centrales de contraparte y exigencias de garantías para operaciones OTC**

A raíz de la crisis, la regulación del riesgo de contraparte ha cobrado un papel más importante en el marco conceptual de la regulación financiera internacional. A partir del 2009, desde el G20 se han impulsado una serie de medidas encaminadas a reducir la exposición al riesgo de contraparte e intentar paliar de esta manera el riesgo sistémico al que está sujeto el sistema financiero debido, entre otros factores, a las exposiciones que los bancos y otras entidades financieras mantienen entre sí en los mercados OTC. Con dichas medidas se persigue (CBSB 2015a, 2):

- Incentivar que la mayor parte de los derivados que actualmente se negocian en mercados bilaterales (OTC) se negocie en mercados organizados o a través de plataformas electrónicas y se liquidez a través de centrales de contraparte<sup>76</sup>. Aunque en los mercados organizados de derivados se negocia una cantidad importante de contratos, la mayoría de los derivados se negocian en mercados OTC (Bank of England 2016, 284).
- Crear bases de datos con información sobre los derivados negociados en los mercados OTC

---

<sup>76</sup> A veces se habla de los derivados OTC “estandarizados”. Este concepto es confuso porque la estandarización de los contratos (en cuanto a los subyacentes, fechas de liquidación, nominales, etc.) es una característica de los mercados organizados. El concepto de estandarización en el contexto de los derivados OTC se refiere a la existencia de contratos con características similares y relativamente sencillos. Algunos ejemplos son los swaps *vanilla*, FRAs (*Forward Rate Agreements*), CDS sobre índices, OIS (Bank of England 2016, 287)



- Exigir mayores niveles de capital para los derivados OTC que no se liquidan a través de centrales de contraparte

En el caso de los derivados OTC el objetivo para las centrales de contraparte es que funcionen como cámaras de compensación que gestionen las garantías que las contrapartes deben aportar a lo largo de la vida de una operación y el proceso de liquidación en el vencimiento de la misma. Las garantías las deben aportar ambas contrapartes en el inicio del contrato si el mismo supone intercambios de flujos entre las partes y por tanto implica que ambas entidades pueden incumplir. A lo largo de la vida del derivado, las garantías se actualizan en función de las variaciones del valor razonable de derivado, que en algunos momentos podrá ser un pasivo para una de las entidades y un activo para otra, y en otros la situación se puede revertir. En caso de que un contrato implica que solo una de las entidades tiene la obligación de realizar pagos a lo largo de la vida del contrato, las garantías se le exigen a dicha, contraparte, que es la única que puede incumplir.

El Comité de Basilea junto con otros organismos que emiten estándares sobre las prácticas del sistema financiero (como la IOSCO, el Comité de Pagos e Infraestructuras de Mercado o el Consejo de Estabilidad Financiera), plantean como fecha límite el final del año 2016 para definir los estándares normativos que se aplicarán a las centrales de contraparte y la supervisión por parte de las autoridades competentes.

En 2011 se acordó en el G20 añadir a estas medidas la exigencia de garantías para los derivados que no se liquidan a través de centrales de contraparte; el Comité de Basilea, IOSCO, otros dos organismos en el seno del BIP de Basilea, el Comité de pagos e infraestructuras de mercado y el Comité sobre el sistema financiero global, han publicado una serie de estándares al respecto (CBSB 2015a). El propósito explícito de estas medidas es también aumentar la transparencia de los mercados OTC y “mitigar el riesgo sistémico que surge de los derivados, mercados y prácticas de los mercados OTC” (CBSB 2015a, 2). De manera similar a las exigencias de garantías en las cámaras de compensación, ambas contrapartes de un derivado OTC deberán aportar una determinada cantidad de garantías iniciales y realizar intercambios de las mismas a lo largo de la vida de los derivados en función

de la evolución de su valor<sup>77</sup>. Las garantías se calculan por parte de cada entidad, en base a sus modelos internos, que deberán ser validados por los supervisores.

Según publica el Comité de Basilea, está previsto que estas normas entren en vigor a partir de septiembre del 2016 para las entidades que pertenecen a grupos cuya cartera de derivados OTC supera 3 billones de euros en valor nominal. A partir de 2017 este umbral descende paulatinamente hasta 2020 cuando está previsto que todas las entidades cuya cartera de derivados OTC supera 8 mil millones estarán sujetas a la implementación de las nuevas normas, tanto entidades financieras, como empresas no financieras consideradas sistémicas.

Los colaterales aceptados como garantías son: efectivo, títulos emitidos por gobiernos con una alta calidad crediticia y bancos centrales, bonos corporativos y bonos garantizados de alta calidad crediticia, acciones incluidas en los principales índices bursátiles y el oro. Esta lista que se puede adaptar a las particularidades de cada país, si se cumplen los requisitos planteados en las normas: liquidez de las garantías, que no tengan riesgo de crédito o de cambio excesivo, que el valor no esté correlacionado con la calidad crediticia de la contraparte que lo aporta o con el valor de su cartera de derivados (CBSB 2015a, 17-18).

Para que las garantías sean un mitigante eficaz del riesgo de contraparte, en operaciones bilaterales o en las que se realizan a través de cámaras de compensación, los activos que las componen deben ser lo suficientemente líquidos como para ser vendidos con rapidez ante un incumplimiento y a un valor predecible. Ese valor futuro de cualquier activo está sujeto a incertidumbre, por lo que en las bolsas es habitual exigir garantías en exceso y, a la vez, aplicar distintos recortes al valor actual de las garantías, que se calculan en función del tipo de activo y las estimaciones acerca de la variación que sus precios puedan registrar en periodos estresados. El cálculo de estos recortes se calcula generalmente utilizando modelos VaR<sup>78</sup>.

---

<sup>77</sup> Más detalles acerca del cálculo de garantías para cada tipo de derivado y los plazos previstos para la implementación de las nuevas normas: CBSB (2015a)

<sup>78</sup>En el caso de las normas para derivados OTC, los bancos pueden usar sus modelos VaR internos, que deben ser validados por los supervisores. A este efecto se pueden emplear también los recortes establecidos por los reguladores; véase el apéndice B de CBSB (2015a) para los recortes que el Comité establece para cada clase de activos de los que aceptan como colaterales.

## 7.4 Problemas sin solución

Los actuales problemas sin solución se refieren, por una parte, a los temas que se han discutido en este capítulo y que no han recibido ningún tratamiento en las normas reformadas y, por otra, a problemas que no se pueden solucionar en el marco actual en el que se sitúan los organismos responsables de llevar a cabo la regulación y supervisión del sistema financiero.

Como se ha apuntado ya, uno de los problemas fundamentales relacionados con las carteras de negociación es la abundancia de instrumentos sin liquidez y valorados con modelos de valoración clasificados en estas carteras. La gran incertidumbre acerca del valor de estos instrumentos es una fuente constante de fragilidad, exacerbada en las crisis, cuando la solvencia de los bancos está bajo sospecha. El enorme tamaño de estas carteras obstaculiza a su vez las tareas de supervisión de los bancos, en cuanto que hace inabarcable la revisión en profundidad y el seguimiento de los contratos vigentes. La implementación de *expected shortfall*, o cualquier otra métrica de riesgo, no resuelve este problema, que tampoco se ha atacado en las otras normas comprendidas por las reformas. Todo lo contrario, poniendo el foco en los fallos de los modelos VaR, o “de los modelos” en general, tanto el Comité de Basilea, como los autores que defienden este argumento eluden una reflexión sobre las consecuencias de esta realidad.

Los nuevos métodos y requerimientos de capital por riesgo de contraparte pueden contribuir a aumentar el volumen total de capital regulatorio en los bancos, pero la exposición futura de los derivados no es predecible y los diferentes métodos para estimarla terminan siendo convenciones ad hoc para poder definir reglas operativas. Ante la imposibilidad de predecir el incumplimiento de una entidad y los efectos que puede desencadenar un acontecimiento de este tipo, no existe ninguna garantía de que los nuevos requerimientos de capital para riesgo de contraparte asegurarán una capitalización suficiente para absorber las pérdidas ante un evento de crédito de una contraparte o, más aún, ante un acontecimiento sistémico.

La forma de evitar o mitigar el riesgo de contraparte está siendo canalizada mediante la obligación generalizada de garantías para las operaciones con derivados. Esto plantea algunos problemas.

El proceso de llevar los derivados a cámaras de contraparte central está en plena ebullición y a raíz de las reuniones del G-20 celebradas en los años 2010 y 2011 surgieron varios ejes de actuación. Actualmente se está trabajando en establecer tipologías bien definidas para crear familias de derivados que sean susceptibles de compensación a través de las cámaras de contraparte central y, además, a los derivados que no pudieran ser objeto de compensación y liquidación en una cámara se les deben exigir mayores requerimientos de capital. Desde 2010 a la actualidad se han dado avances en la dirección anterior, pero quedan muchos problemas jurídicos, regulatorios y operativos por resolver.

Por ejemplo, los activos líquidos y de alta calificación crediticia, que se supone deben de ser la parte fundamental de las garantías, no son los activos más abundantes en los mercados. El volumen actual de operaciones OTC es muy elevado y sería imposible garantizar la totalidad, o la mayor parte, con activos líquidos y de alta calidad crediticia. A la vez, a la necesidad de poseer activos líquidos para mitigar el riesgo de contraparte se juntan las necesidades de cumplir la ratio de liquidez de Basilea (LCR), que requiere a su vez la tenencia de activos de características similares. Los activos líquidos de cobertura para el LCR no se pueden aportar como garantías, lo que aumentan las necesidades de adquirir un tipo de activos ya de por sí escasos. Adicional al problema de su relativa escasez, los activos de alta calificación crediticia ofrecen bajos tipos de interés lo que tiene un impacto negativo para el margen financiero de los bancos, en un contexto en el que éste ha ido menguando en los últimos años a raíz de los bajos tipos de interés y la ausencia de una recuperación vigorosa de la economía. Ante un nuevo evento sistémico no existen certezas de que sobre si las operaciones respaldadas por garantías serán suficientes como para despejar el riesgo derivado del resto de las exposiciones sin garantía. A su vez, los problemas jurídicos como los que surgen de la existencia de distintos marcos legales nacionales heterogéneos o aspectos regulatorios, como las posibilidades de arbitraje regulatorio para evitar las exigencias de garantías, plantean horizontes de (potencial) resolución a largo plazo.

No se puede considerar que las medidas citadas anteriormente no sean positivas, pero en todo caso, la eficacia solo se podrá conocer en el contexto de una crisis financiera futura. Frente al grado actual de fragilidad financiera que ha alcanzado el sistema financiero

internacional, la viabilidad de todo el proyecto de reforma no está asegurado y la posibilidad de una crisis financiera no debe descartarse.

# Capítulo 8. Conclusiones

## 8.1 Adecuación de los modelos VaR

Después de la crisis financiera del año 2007, la inadecuación de los modelos VaR ha sido a menudo invocada entre los fallos regulatorios detrás la crisis, debido a que estos modelos formaban parte de las normas financieras internacionales que regían el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado<sup>79</sup>. En las reformas que el Comité de Basilea acometió en la regulación del riesgo de mercado y que se finalizaron a principios del año 2016, los modelos VaR han sido reemplazados en el método basado en modelos internos por otra métrica, el *expected shortfall*. El Comité elaboró un nuevo método estándar, que será aplicado por los bancos que no utilizan un modelo basado en *expected shortfall* y también deberá servir como suelo para el capital calculado según el método basado en modelos internos. Estos acontecimientos han motivado el estudio que se ha emprendido en este trabajo de investigación.

Los objetivos de esta tesis, según se han planteado en el primer capítulo han sido:

- determinar el grado de adecuación de los modelos VaR para el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado, según las normas comprendidas en el primer pilar de Basilea II
- evaluar si un factor determinante de la crisis fue la falta de adecuación de los modelos VaR o,
- si fueron otros los factores relevantes en el ámbito de las carteras de negociación que contribuyeron a que los bancos registraran grandes pérdidas a raíz de la crisis en dichas carteras

Para dar respuesta al primer objetivo, en cuatro de los capítulos anteriores (del capítulo 3 al 6) se ha calculado el VaR diario de varias carteras de instrumentos financieros expuestos a riesgo de mercado a lo largo del periodo comprendido entre 2000-2014. Se han incluido en

---

<sup>79</sup> Véase por ejemplo CBSB (2012) o el informe Turner, publicado después de la crisis por el director de la *Financial Services Authority*, la agencia encargada de la supervisión bancaria del Reino Unido (Turner 2009)

el estudio instrumentos financieros altamente líquidos, como acciones del índice S&P 500, bonos del Tesoro de EEUU, bonos corporativos, bonos con riesgo de tipo de cambio, y también un producto estructurado con una estructura de opciones estándar y exóticas sobre el índice bursátil Eurostoxx 50. Se han estimado las pérdidas diarias de cada categoría de instrumentos con un modelo VaR a distintos horizontes temporales y niveles de confianza y se han realizado las pruebas de contraste pertinentes. En el capítulo 2 se ha puesto de manifiesto que existen varias categorías de modelos VaR, de las cuales, en el caso de las acciones y los bonos se ha elegido emplear un modelo paramétrico y dos técnicas distintas para estimar la volatilidad de los factores de riesgo, basadas en el supuesto de que los factores de riesgo siguen una distribución condicional normal (capítulos 3, 4 y 5). En el caso del producto estructurado, después de realizar la valoración del mismo, se ha empleado la aproximación delta-gamma para calcular el VaR de los derivados implícitos, al ser éstos opciones de compra y venta estándar y digitales sobre un índice bursátil (capítulo 6). Se ha calculado a su vez el capital regulatorio para dichos instrumentos con arreglo a las normas de Basilea II. Los resultados obtenidos muestran que los modelos VaR empleados en los estudios empíricos funcionan satisfactoriamente como base para el cálculo del capital regulatorio para riesgo de mercado, tal y como estaba planteado este proceso en Basilea II, dado que las pérdidas registradas en las carteras estudiadas no superan en ningún momento dicho capital regulatorio.

En cuanto al segundo objetivo, según se ha puesto de manifiesto en los capítulos citados, los modelos VaR permiten estimar, con distintas técnicas, las variaciones a corto plazo de los precios de los instrumentos líquidos que pueden ocasionar pérdidas en las carteras de negociación. En las muestras analizadas el capital regulatorio es siempre superior a las pérdidas reales registradas, incluso en los años de la crisis e incluso en instrumentos cuyo precio ha sufrido grandes caídas en la crisis. Según se ha expuesto en el capítulo 2, la regulación indica que en base a estas estimaciones es necesario gestionar activamente la cartera de negociación y poner límites a las exposiciones, en función del riesgo que se puede soportar y del nivel de capital regulatorio existente en el banco. En la medida en la que los bancos utilizaran un modelo que cumpliera con los requisitos regulatorios (incluida la realización de pruebas de contraste de los modelos, test de estrés, valoración diaria de las

posiciones, etc.) y calculasen el capital regulatorio según las normas, no se puede considerar que las pérdidas que hayan podido ocurrir en las carteras de negociación por la materialización del riesgo de mercado, se deben a los fallos de los modelos. En todo caso, se podría hablar de fallos de la gestión interna de los riesgos o de un uso inadecuado del modelo de riesgo.

Para dar respuesta al tercer objetivo se han analizado distintos elementos pertenecientes al ámbito de las carteras de negociación, que indican que la mayor parte de las pérdidas en la crisis se debieron a la materialización de otros riesgos, distintos del riesgo de mercado.

Según datos del Comité de Basilea, entre los instrumentos que registraron mayores pérdidas en la crisis, se cuentan instrumentos sin liquidez, que representan el grueso de las carteras de negociación de los bancos. Estos instrumentos generan exposición al riesgo de crédito, contraparte o liquidez cuya materialización puede generar pérdidas superiores a las que se derivan de las variaciones de los precios de los instrumentos financieros en los mercados.

En los casos en los que el valor razonable de los instrumentos sin liquidez de las carteras de negociación depende del comportamiento de variables con liquidez (acciones, índices bursátiles, bonos que se negocian en volúmenes y con suficiente frecuencia para ser considerados líquidos, tipos de cambio, etc.), un modelo VaR puede informar sobre el riesgo de mercado de dichos instrumentos.

Sin embargo, a diferencia de los instrumentos líquidos, los instrumentos sin liquidez no se pueden vender en el momento en el que registran pérdidas superiores a los límites establecidos y estas pérdidas no pueden ser contenidas si no existen mitigantes disponibles (porque en general no existen instrumentos para ello o porque, en condiciones de crisis, no se puede acceder a ellos). El valor de los instrumentos que no cotizan en mercados secundarios depende de los métodos de valoración empleados y de los parámetros de los modelos de valoración que pueden ser datos observables de mercado o estimaciones internas de parámetros que no son observables (por ejemplo, probabilidades de incumplimiento de ciertos acreditados). Las pérdidas son en este caso de valoración, debidas a cambios en el valor estimado con el modelo de valoración, y no responden compras o ventas del instrumento. Aunque se esté estimando correctamente el VaR de la posición y el



modelo de riesgo indica una exposición mayor que los límites planteados, existe el riesgo de registrar pérdidas por la imposibilidad de cerrar dicha posición, cubrirla (o cubrir una parte de la exposición) o porque el coste de estas operaciones es muy elevado.

La posibilidad de un impago en el vencimiento de un emisor o una contraparte en el caso de algunos instrumentos de la cartera de negociación, con o sin liquidez, marcan otro terreno que trasciende al del riesgo de mercado y que exige una gestión específica al margen de que exista un nivel de capitalización coherente con el riesgo de mercado medido en base a un modelo VaR.

Un ejemplo que ilustra lo anterior es la nota estructurada para la que se calcula el valor razonable y el VaR en el Capítulo 6. El riesgo de mercado procedente de las variaciones del índice bursátil subyacente, de las que depende la variación del valor razonable de la nota estructurada, se estima con un modelo VaR. El capital calculado en base a dicho modelo es suficiente para cubrir las pérdidas que resultan de la variación del valor razonable de la nota. Sin embargo, ante la imposibilidad de vender la nota, aunque esté registrando pérdidas, el nivel de las mismas puede ser mayor que en el caso de un instrumento que se puede vender con facilidad.

Adicionalmente existe el riesgo de que el emisor incumpliera sus obligaciones de pago en el vencimiento. En este caso, el inversor (un banco, fondo de pensiones o cualquier otro posible inversor) registraría pérdidas, aunque el índice bursátil evolucionase en su favor porque dejaría de percibir la remuneración a la que tiene derecho según las estipulaciones contractuales (el emisor del producto estructurado). Si se produce una quiebra del emisor antes del vencimiento, el instrumento perdería también su valor, independientemente de la evolución del índice subyacente, ya que existe la certeza de que el emisor quebrado no hará frente a sus obligaciones de pago en el vencimiento<sup>80</sup>. El emisor del instrumento analizado en el capítulo 6 es Lehman Brothers. La quiebra de este banco de inversión ocurrió unos pocos meses después del vencimiento de la nota analizada. El vencimiento de la misma ocurrió en mayo de 2008 y la quiebra se produce en septiembre de 2008, pero este

---

<sup>80</sup> Las pérdidas podrían ser mitigadas por la existencia de garantías, si las hubiera.

instrumento concreto es uno de los muchos instrumentos de características similares emitidos por Lehman Brothers y otros bancos, y a su vez adquiridos por todo tipo de inversores, algunos de ellos, a su vez bancos, y que estaban vigentes en el momento de la quiebra<sup>81</sup>.

El valor razonable de un instrumento, calculado en base a las técnicas y modelos de valoración generalmente aceptados para cada tipo de instrumento, puede ser una aproximación válida para reflejar los derivados y otros instrumentos sin liquidez en el balance. Pero en la gestión de los riesgos de un determinado instrumento se deben considerar las limitaciones de los modelos de valoración y se deben tomar en cuenta todos los factores que pueden provocar pérdidas, sobre todo en un contexto en el que la mayor parte de las carteras de negociación está compuesta por instrumentos sin liquidez. La gran incertidumbre acerca del valor de estos instrumentos (sobre todo cuando dicho valor se basa en datos no observables) y acerca de la solvencia de sus emisores, es una fuente constante de fragilidad, exacerbada en las crisis.

Después del estallido de la crisis, el G20 y el Comité de Basilea, junto con otros cuerpos internacionales que emiten estándares y buenas prácticas para el sistema financiero y organismos reguladores nacionales, han impulsado reformas en varias áreas relacionadas con los riesgos de los instrumentos de la cartera de negociación. Se ha modificado en su totalidad el marco para calcular requerimientos de capital para riesgo de mercado, se han adoptado nuevos métodos para calcular los requerimientos de capital para riesgo de contraparte y actualmente se están implementando medidas que buscan evitar o mitigar el riesgo de contraparte mediante la obligación generalizada de aportar garantías para las operaciones con derivados. En este último ámbito el proceso está en plena ebullición y desde 2010 a la actualidad se han dado avances, pero quedan muchos problemas jurídicos, regulatorios y operativos por resolver<sup>82</sup>. El actual aparato normativo es enorme, y cada vez presenta más complejidad. A pesar de que la dirección de atacar el riesgo sistémico o poner

---

<sup>81</sup> La quiebra de Lehman Brothers se ha tratado con más detalles en el capítulo 7 en relación con el riesgo de contraparte, la manifestación del riesgo sistémico en el caso de la quiebra de una entidad financiera y las reformas emprendidas en este terreno por el Comité de Basilea.

<sup>82</sup> Véase más detalles sobre estas medidas en el Capítulo 7, apartados 7.3 y 7.4.

más énfasis en el riesgo de contraparte, no es desacertada, las nuevas normas no han pasado la prueba de la práctica. La viabilidad del proceso de reforma se conocerá en el contexto de una crisis financiera futura, que no se puede descartar, dada la actual situación del sistema financiero.

## **8.2 Consideraciones finales**

A partir de los años 70 los bancos y otras entidades financieras de los países industrializados atraviesan un proceso de grandes transformaciones, desencadenados por la liberalización de los movimientos internacionales de capitales y la eliminación de numerosas restricciones sobre la naturaleza y ámbito geográfico de sus operaciones. En el contexto de una creciente interconexión de los mercados financieros a nivel global, aparecen nuevas posibilidades de negociación para los bancos y aumenta la diversidad de los instrumentos negociados. El creciente volumen y complejidad de las actividades de negociación impulsa el desarrollo de técnicas para valorar los nuevos instrumentos y gestionar los riesgos.

En los años 80, ante el aumento de la concentración bancaria, la expansión de las entidades a nivel internacional y la eliminación de algunas normas vigentes en la regulación financiera establecida después de la segunda guerra mundial, se empiezan a desarrollar normas regulatorias para los bancos comerciales con actividad internacional. Basilea I, el primer acuerdo adoptado a nivel internacional por los miembros del Comité de Basilea de Supervisión Bancaria, contenía normas que exigían a los bancos mantener unos niveles mínimos de capital para hacer frente a las posibles pérdidas derivadas del riesgo de crédito. Posteriormente, la regulación se amplió para incluir exigencias de capital para otras categorías de riesgo, como riesgo de mercado en 1996 y riesgo de contraparte y operacional en 2004, con la elaboración de las normas conocidas como Basilea II, las sucesoras de la regulación de los años 80.

El modelo de regulación financiera de las dos décadas anteriores a la crisis del 2007 se caracterizó por una postura favorable a la ingeniería financiera, visible en la incorporación en las normas contables y de regulación bancaria de los modelos matemáticos de valoración de instrumentos financieros y los modelos de riesgo desarrollados en los años 80 y 90. Los modelos de riesgo y de valoración fueron recibidos con entusiasmo por numerosos

académicos y reguladores y los modelos VaR para riesgo de mercado fueron los primeros que recibieron el visto bueno por parte de los reguladores para que fueran empleados por los bancos en la estimación de sus requerimientos mínimos de capital regulatorio. Desde la entrada en vigor de la enmienda para riesgo de mercado de 1996, el Comité de Basilea ha reiterado su confianza en que la utilización de los modelos de riesgo en todos los ámbitos de la regulación (riesgo de mercado, crédito, operacional y contraparte) traería consigo mejoras en la gestión de estos riesgos en los bancos. De esta manera, se fueron introduciendo modelos para riesgo de crédito, operacional y contraparte, que dejan a discreción de los bancos varios elementos del proceso de estimación del capital regulatorio y reservan para la supervisión el papel de validar si dichos procesos se han llevado a cabo en conformidad con las normas vigentes. Coexisten con los modelos internos, los métodos estándar diseñados por el Comité, para los bancos considerados menos sofisticados o con poca actividad en algunos ámbitos concretos, pero queda patente la supremacía del énfasis en los modelos internos. Conforme los bancos iban avanzando por el camino de diseñar técnicas para modelizar cada vez más riesgos, el riesgo sistémico se iba convirtiendo supuestamente en un riesgo residual, cada vez menor. El riesgo de liquidez ha recibido también escasa atención y, debido a las dificultades que implica su modelización, se menciona junto a las otras categorías de riesgo para las que la regulación no establece métodos de cálculo, como un elemento a tomar en cuenta, por los métodos considerados adecuados por cada banco, a la hora de calcular el capital regulatorio.

Este enfoque se complementa con la idea de que existían fuertes incentivos para que las entidades mejoraran su gestión interna del riesgo ante el escrutinio y potenciales sanciones del resto de los participantes mercado (potenciales inversores, otros bancos y entidades financieras, etc.). Al amparo de las ideas popularizadas por la teoría de los mercados eficientes, se defiende que los mercados generan y utilizan eficientemente la información disponible, por ejemplo, conocen la calidad de los activos de un banco y el riesgo al que está expuesto, y actúan en consecuencia, ofreciéndole financiación con unas primas de riesgo más o menos elevadas o comprando sus acciones a un precio mayor o menor.

Estos enfoques en la regulación coexisten con el advenimiento de la “gran moderación”, un consenso compartido y popularizados por economistas y representantes de bancos centrales

en la primera década de los años 2000, caracterizado por la confianza en que las grandes crisis y las subsiguientes recesiones eran el dominio del pasado. Este consenso ocurre en un periodo entre finales de los años 90 y 2000 en el que se habían registrado tasas de crecimiento moderadas en las economías de Europa y Estados Unidos, y más vigorosas en el sudeste asiático y en el que las crisis parecían tener efectos acotados, y no desembocaban en profundas recesiones<sup>83</sup>. La pretensión de “gran moderación” se sustentaba en los supuestos avances que los bancos centrales habían conseguido en la aplicación de la política monetaria, a través de la cual se había logrado controlar la inflación a la vez que las tasas de desempleo se mantenían en niveles reducidos, en un periodo que coexiste con tendencias alcistas de los precios de los activos negociados en las bolsas y reducción de las primas de riesgo de bancos y empresas. De esta manera, la creencia en que la política monetaria permitiría un ajuste fino de la economía y de que los mercados financieros permitían, a su vez, cubrir adecuadamente cada vez más riesgos derivados de la actividad económica, llevó a decretar que las grandes recesiones económicas eran un mal erradicado de las economías modernas.

La “gran moderación” entendida en este sentido, es un espejismo en la medida en la que la verdadera gran moderación de la época es la gran moderación salarial, tanto en Europa como en Estados Unidos y, en un periodo en el que la expansión del crédito es la que sustenta el consumo. Además, en Europa el nuevo siglo comenzó con la euforia motivada por la implantación del euro, con un aumento relevante de las operaciones transfronterizas de fusiones y adquisiciones, liberadas de las restricciones del riesgo de cambio, y el sentimiento en los inversores del nacimiento de una nueva potencia económica. A su vez, los bajos tipos de interés de principios de los años 2000, después del estallido de la burbuja tecnológica y el atentado de las Torres Gemelas, llevan a un aumento de la demanda de activos con riesgo que empujan a la baja, por efecto precio, las primas de riesgo, pero esto no es un signo de que los riesgos efectivamente se habían reducido, como se hizo evidente en la crisis del año 2007. En este momento, en verano del 2007, no solo se vio que los riesgos que soportaban los bancos y otras entidades relacionadas con ellas habían aumentado, sino que también

---

<sup>83</sup> Para más detalles véase, entre otros, Irwin (2014, cap. 8)

volvió a la luz la importancia del riesgo sistémico, que resultó ser menos residual de lo que se había querido pensar (Hannoun 2010).

A raíz de la crisis se puede hablar de un cambio de modelo en la regulación. En las normas de Basilea los métodos estandarizados reciben más protagonismo frente a los modelos internos en el terreno de la regulación del riesgo de mercado, el tratamiento de las titulizaciones o el riesgo de crédito, donde, aunque se mantienen los métodos basados en modelos internos, se ha eliminado el método basado en calificaciones de las agencias y se ha reemplazado por un nuevo método estándar<sup>84</sup>. A su vez, a partir del año 2009, las reformas en materia de regulación financiera adoptadas por el Comité de Basilea, junto con otros cuerpos reguladores nacionales y organismos internacionales han centrado sus esfuerzos en la mitigación del riesgo sistémico, con intentos de crear cámaras de contraparte centrales y exigir garantías para las exposiciones en los mercados OTC. Asimismo, se reconoce la importancia de otros riesgos como el de liquidez y contraparte: en Basilea III se exige el cumplimiento de dos ratios de liquidez y se ha reformado el marco para riesgo de contraparte.

La crisis ha hecho evidente otra realidad que raras veces se comenta explícitamente, y es que muchos bancos han hecho una pésima gestión de sus riesgos, a pesar de las pretensiones de sofisticación de sus modelos de riesgo y estrategias de negociación. Ha quedado patente, de esta manera, el gran error cometido por los organismos reguladores, gran parte de la comunidad académica y otros altavoces propagandísticos de los lobbies bancarios, de

---

<sup>84</sup> El análisis de los modelos internos de riesgo de crédito y contraparte no está comprendido en la esfera de este trabajo de investigación, como tampoco lo están los métodos estándar. La idoneidad de estos marcos se debe estudiar por separado y en relación con cada tipo de riesgo. Sin embargo, es importante subrayar que existen diferencias fundamentales entre los modelos de riesgo de mercado y los modelos de riesgo de crédito y contraparte, que hacen que la estimación de los parámetros y los contrastes de los modelos se lleve a cabo de una manera muy distinta. Primero, por el diferente horizonte de la medición del riesgo en las dos categorías de modelos y, segundo, por la gran diferencia de información muestral de la que se dispone para la estimación de los mismos. Los modelos de riesgo de mercado utilizan datos de mercado, generalmente diarios, y las estimaciones son a muy corto plazo. En el caso de los modelos de riesgo internos de crédito o contraparte, el horizonte de estimación es anual y los parámetros más relevantes de los modelos no son datos observables. La volatilidad empleada en los modelos de riesgo de mercado tampoco es un elemento observable, pero sí lo son las pérdidas diarias registradas, con las que se puede contrastar la bondad de las estimaciones del modelo. Lo mismo no es cierto para los modelos de riesgo de crédito donde el contraste individual de las probabilidades de incumplimiento es imposible y se realiza, por tanto, en base a la agregación de diferentes acreditados considerados homogéneos en base a los sistemas internos de calificación. Véase más sobre este tema y los problemas que acarrea en Vilariño et al. (2010).

establecer una equivalencia entre la existencia de métodos para la medición de los riesgos más intensivos en el uso de las matemáticas (principalmente la estadística) y la consecución a través de la aplicación de estos métodos de una mejor gestión de los mismos. Los eslabones en los que este razonamiento se puede romper son varios, en cuanto a que mayor “sofisticación” matemática no lleva necesariamente a una mejor gestión; además, incluso los métodos que sí supusieron un avance en la gestión de los riesgos, como ha sido el caso de los modelos VaR, están sujetos a una posible gestión defectuosa y malas prácticas y no redundan en una mejora de la gestión del riesgo. Los modelos matemáticos deberían, según la teoría de las buenas prácticas, estar integrados en el sistema de gestión de los bancos, y ser una fuente de información adicional a otros métodos y controles que deben llevar a cabo los departamentos de riesgo y, en última instancia, los consejos de administración (decisiones con respecto al riesgo que se desea asumir dentro del modelo de negocio de la entidad, una gestión activa de las posiciones en base a las mediciones de riesgo realizadas con los modelos VaR, sancionar a los operadores que las incumplen los límites, etc.). Si existen bancos que calculan su capital para riesgo de mercado con modelos VaR y que registran pérdidas por riesgo de mercado superiores a dicho capital, antes de sentenciar el fallo de los modelos VaR sería necesario analizar cómo se realiza el resto de la gestión interna.

La responsabilidad de los órganos de gobierno de las entidades en la gestación de la crisis financiera es inapelable, sin embargo, en el seno de los organismos reguladores no ha habido una crítica específica a la misma. Los esfuerzos de reforma se han centrado más bien, en cambiar las reglas con las cuáles se calculan el capital regulatorio para categorías de riesgo ya reguladas o introducir nuevos requerimientos o medidas para atacar otras categorías de riesgo, no comprendidas en las normas anteriores. Aunque estos esfuerzos no son negativos, en el ámbito de la regulación perviven problemas fundamentales: el gran poder de los grupos de intereses relacionados con el sistema financiero, su relación con los órganos directivos de las autoridades reguladoras y su capacidad para influir en múltiples etapas de la implementación de las normas financieras y de la supervisión<sup>85</sup>. A su vez, dentro de los

---

<sup>85</sup> Los conflictos entre los consejos directivos de los organismos reguladores y los cuerpos de supervisión de los mismos han sido frecuentes y mediáticos en el Banco de España, para citar un ejemplo del entorno cercano. El

propios bancos, la calidad de la gestión de los riesgos no está asegurada y los incentivos económicos cortoplacistas y desmesurados de los operadores financieros sigue siendo la norma.

Desde el punto de vista de la supervisión, el enorme tamaño de las carteras de negociación obstaculiza la revisión en profundidad de los contratos vigentes, el control de los modelos de valoración y de riesgo utilizados, de la frecuencia con la que se realizan las valoraciones y la gestión interna que los bancos llevan a cabo de la totalidad de sus riesgos. La implementación de *expected shortfall*, o cualquier otra métrica para medir y gestionar el riesgo de mercado, no resuelve este problema, que tampoco se ha atacado en las otras normas comprendidas por las reformas. Todo lo contrario, poniendo el foco en los fallos de los modelos VaR, o de los modelos en general, tanto el Comité de Basilea, como los autores que defienden este argumento eluden una reflexión sobre las causas y consecuencias de los problemas expuestos anteriormente.

La crisis no ha destapado el fracaso de los modelos VaR para la medición del riesgo de mercado de carteras compuestas por instrumentos financieros dotados de liquidez, sino el alto grado de fragilidad financiera alcanzado por los grandes bancos comerciales y bancos de inversión, inmersos en estrategias de gran crecimiento del balance mediante instrumentos producto de la innovación financiera, y en la obtención de grandes beneficios, tanto por la vía de los rendimientos de excepcionalmente altos en términos de rentabilidad/riesgo aparente<sup>86</sup>, como por la vía de beneficios obtenidos en la intermediación de dichos instrumentos.

---

desacuerdo de los inspectores con las actuaciones de los consejos del Banco de España en la época de la burbuja (AIECA 2005) o en la gestión de la crisis posterior (De Barrón 2016) sirven en para reflejar que la actuación de los órganos reguladores se desarrolla en un ámbito sujeto a la influencia de intereses contrapuestos, que afectan a la supervisión, interpretación y aplicación de las normativas vigentes.

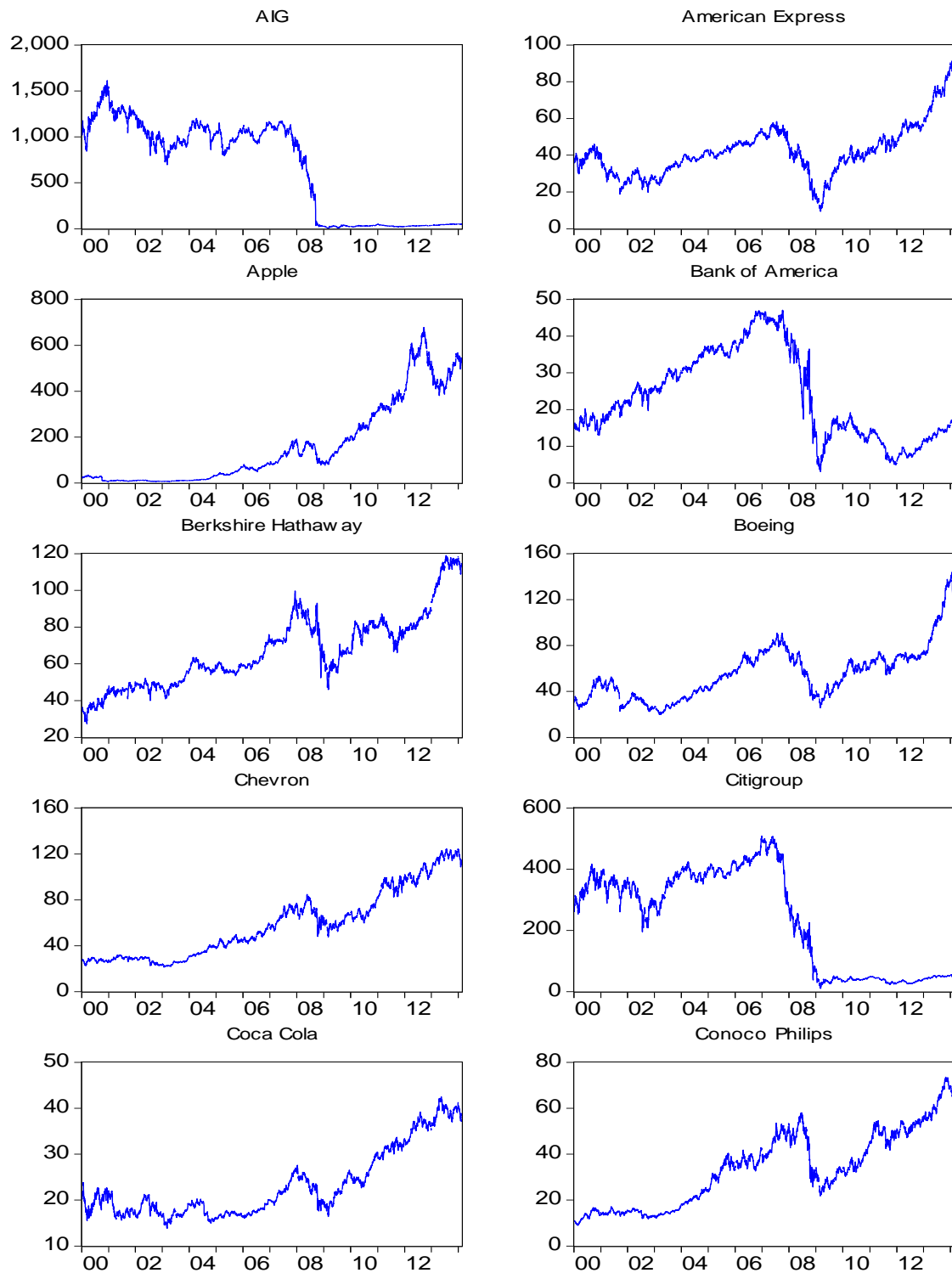
<sup>86</sup> Riesgo aparente, determinado por las calificaciones de las agencias, que se reveló gravemente erróneo en los sucesos posteriores.

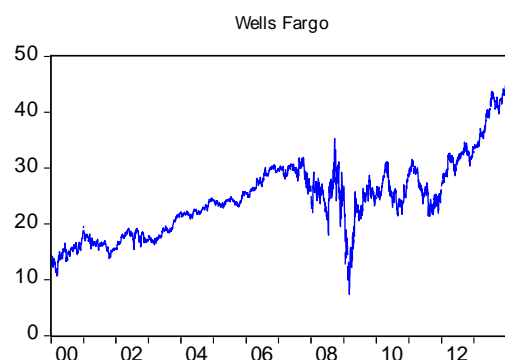
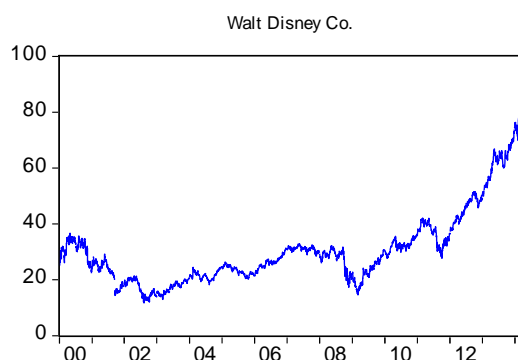
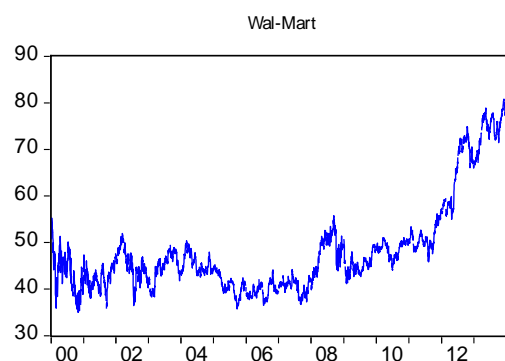
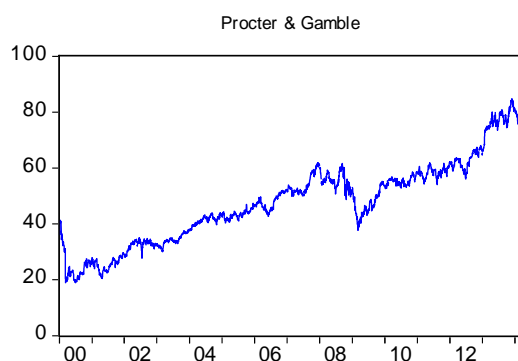
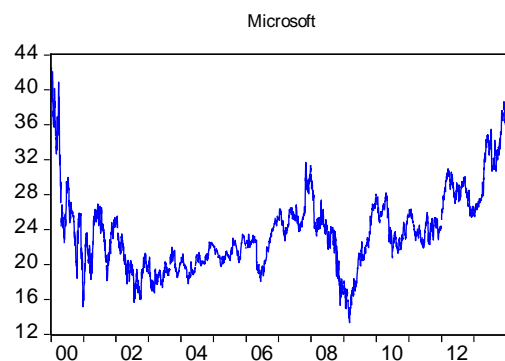
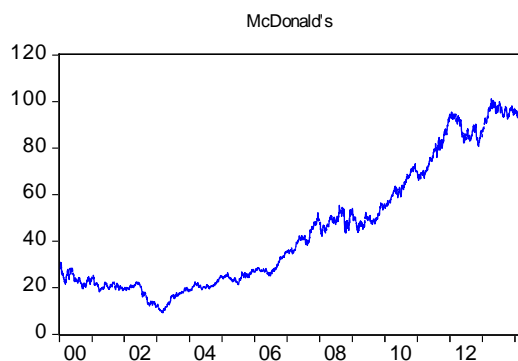
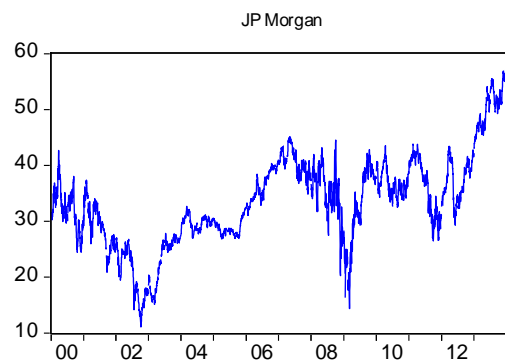
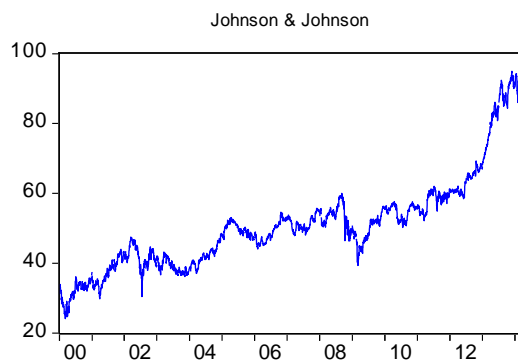
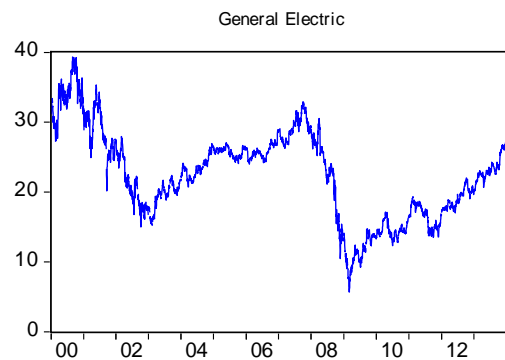
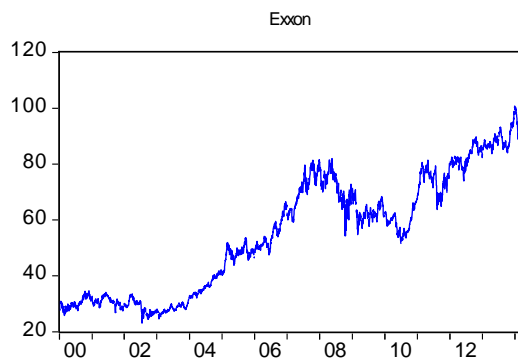




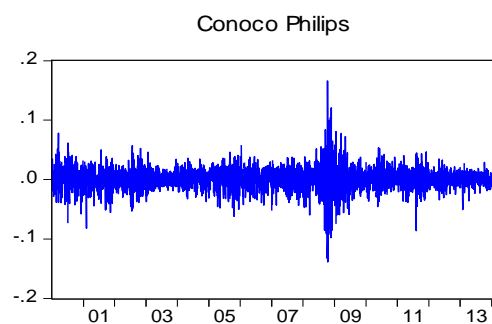
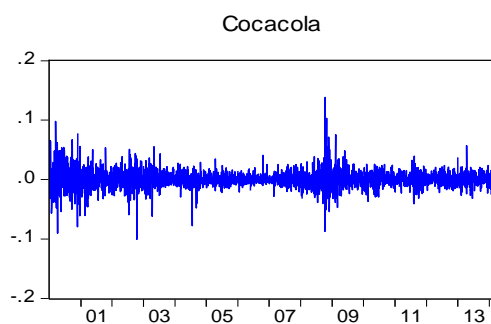
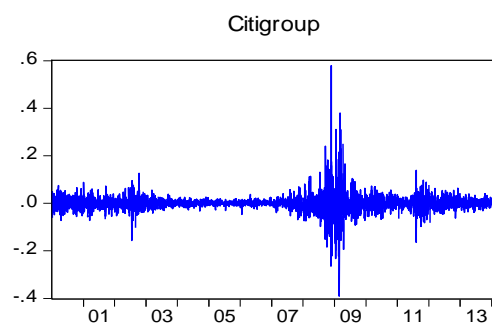
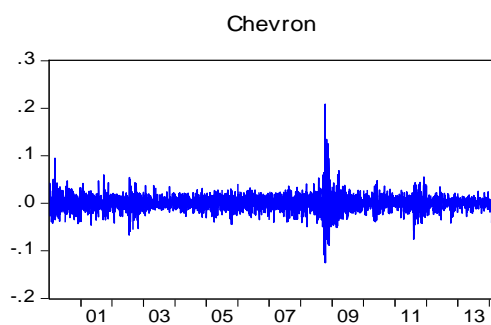
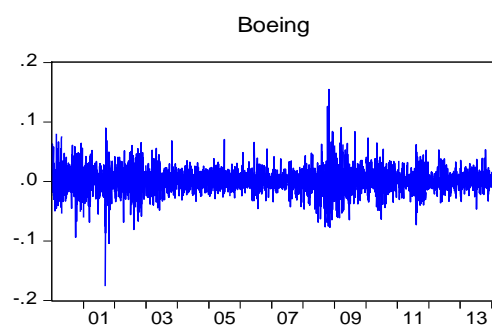
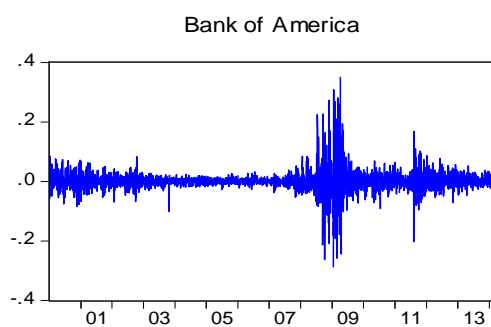
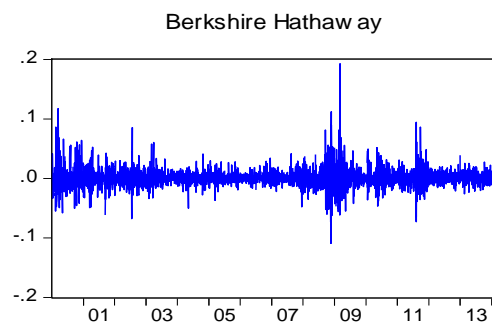
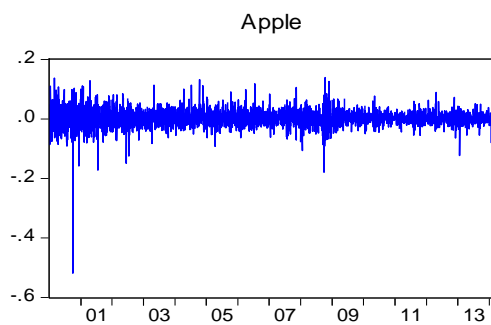
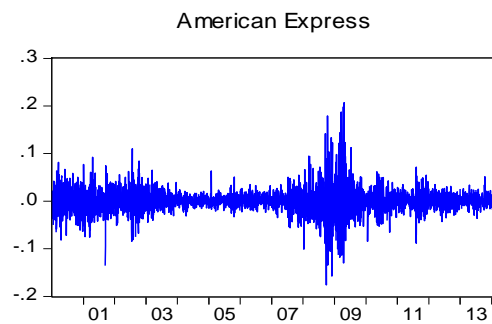
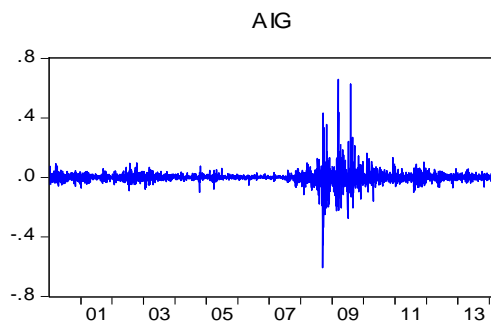
# ANEXOS

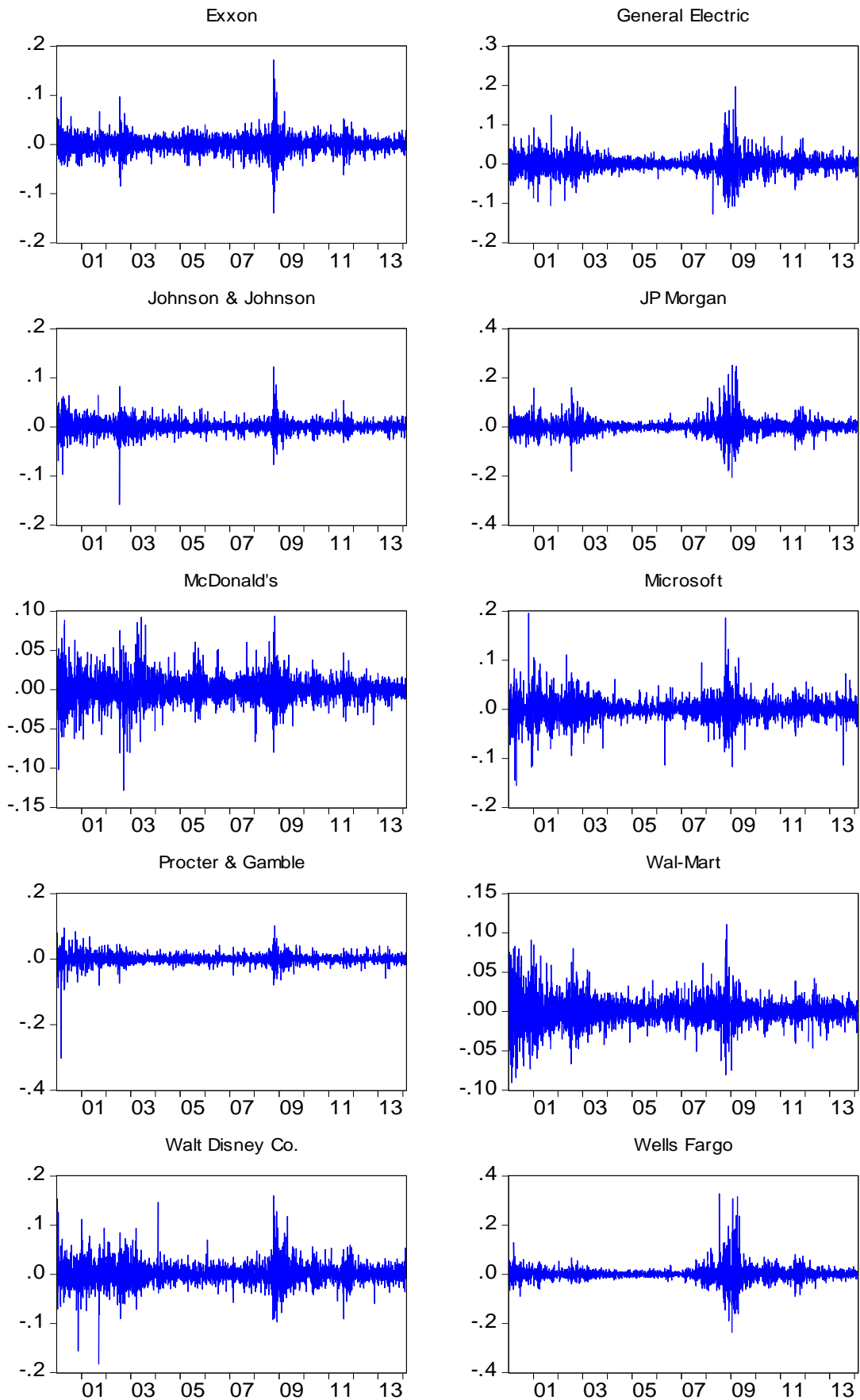
## Anexo 1. Precios diarios de las acciones





## Anexo 2. Rentabilidades diarias





### Anexo 3. Regla para agregar volatilidades

Sea  $\sigma_t$  la varianza calculada para la fecha  $t$  y  $\sigma_{t+h}$  la varianza al horizonte  $h$ . Para llegar a la fórmula  $\sigma_{t+h} = \sigma_t \sqrt{h}$  el procedimiento es el siguiente:

Se expresa la rentabilidad de un título entre las fechas 0 y T, como:

$$R_{0T} = \ln \frac{P_T}{P_0}$$

Donde  $P_T$  es el precio en la fecha T y  $P_0$  es el precio en la fecha inicial.

La expresión anterior es equivalente a:

$$R_{0T} = \ln \frac{P_T}{P_{T-1}} \cdot \frac{P_{T-1}}{P_{T-2}} \dots \frac{P_1}{P_0}$$

$$R_{0T} = \ln \frac{P_T}{P_{T-1}} + \ln \frac{P_{T-1}}{P_{T-2}} + \dots + \ln \frac{P_1}{P_0}$$

$$R_{0T} = R_T + R_{T-1} + \dots + R_1$$

Se supone que la rentabilidad en cada fecha se distribuye como una variable normal de media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ . Calculando la esperanza de  $R_{0T}$ , se obtiene:

$$E(R_{0T}) = E(R_T) + E(R_{T-1}) + \dots + E(R_1) = \mu T$$

Para la varianza, se obtiene:

$$\text{Var}(R_T) = \text{Var}(R_T + R_{T-1} + \dots + R_1)$$

Suponiendo que las rentabilidades diarias son variables aleatorias independientes:

$$\text{Var}(R_{0T}) = \sigma^2 T$$

$$\sigma_{0T} = \sigma \sqrt{T}$$

## Anexo 4. Rentabilidades. Principales estadísticos

Total muestra (n) 3557 datos diarios

<i>n= 3.557</i>	AIG	American Express	Apple	Bank of America	Berkshire Hathaway
Media	5,26E-05	5,48E-04	1,26E-03	4,43E-04	5,37E-04
Mediana	-3,30E-04	1,82E-04	8,64E-04	-1,77E-04	2,28E-04
Máximo	0,66	0,21	0,14	0,19	0,35
Mínimo	-0,61	-0,18	-0,52	-0,11	-0,29
Desv. est.	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03
Asimetría	1,47	0,39	-1,63	1,14	0,89
Curtosis	63,67	12,07	36,45	17,17	26,51
Jarque-Bera	546.820	12.293	167.418	30.516	82.356
Prob.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

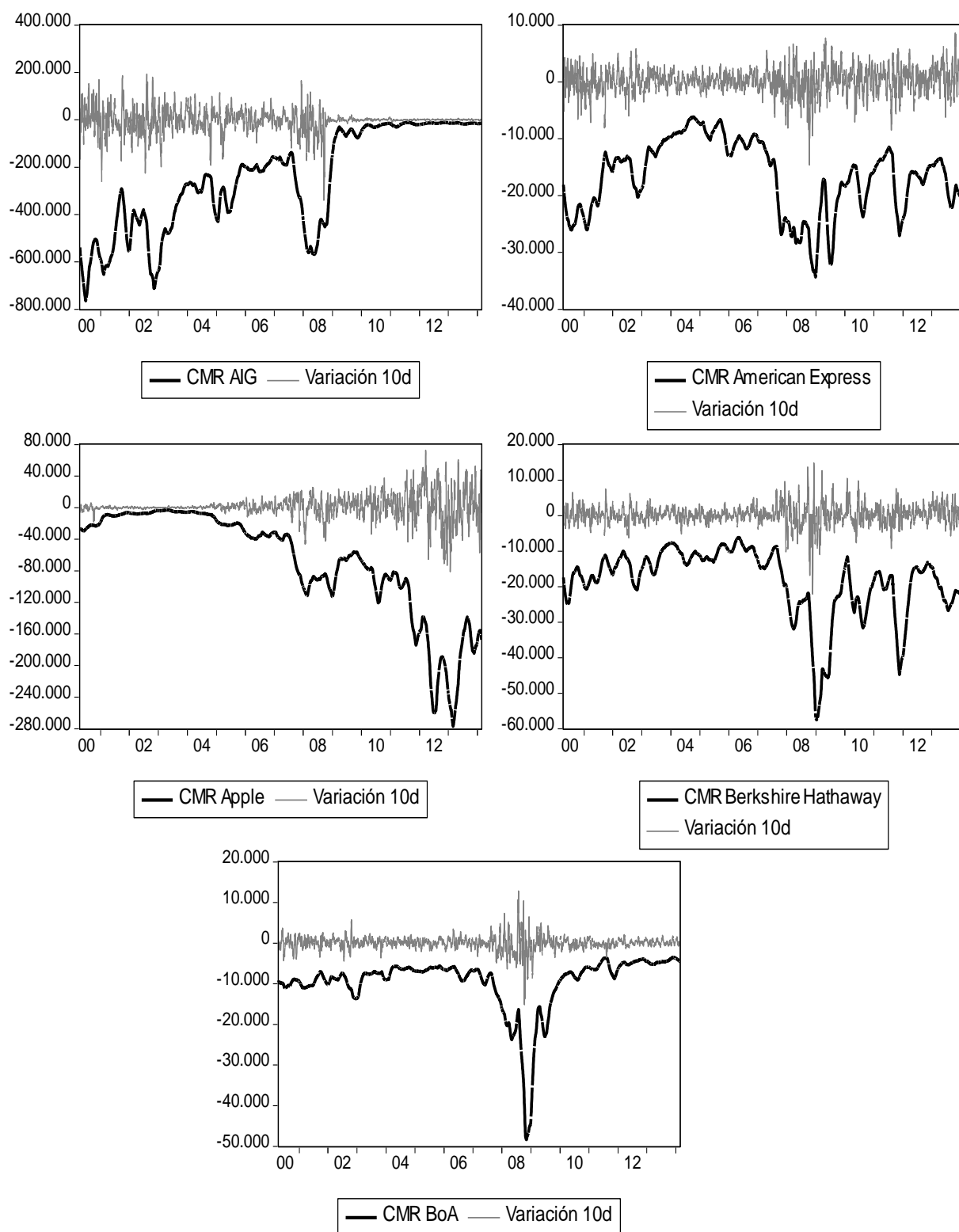
<i>n= 3.557</i>	Boeing	Chevron	Citigroup	Coca Cola	Conoco Philips
Media	6,06E-04	5,55E-04	1,06E-04	2,77E-04	6,78E-04
Mediana	6,75E-04	9,74E-04	0,00E+00	3,11E-04	9,27E-04
Máximo	0,15	0,21	0,58	0,14	0,17
Mínimo	-0,18	-0,12	-0,39	-0,10	-0,14
Desv. est.	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02
Asimetría	-0,05	0,42	1,45	0,31	-0,18
Curtosis	79,37	16,62	44,92	11,50	96,08
Jarque-Bera	3.614	27.610	261.742	10.760	6.491
Prob.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

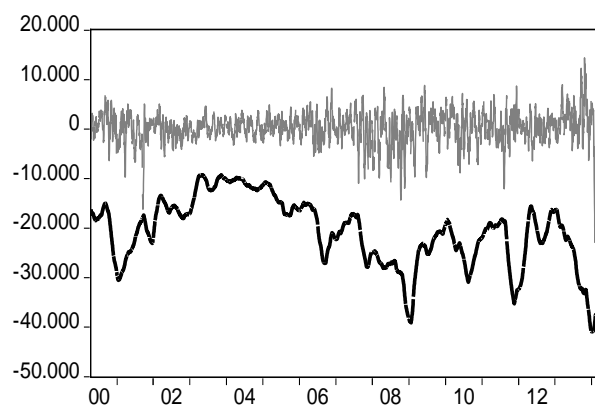
<i>n= 3.557</i>	Exxon	General Electric	Johnson & Johnson	JP Morgan	McDonalds
Media	4,76E-04	1,40E-04	3,71E-04	5,45E-04	4,64E-04
Mediana	6,03E-04	0,00	1,93E-04	0,00	7,32E-04
Máximo	0,17	0,20	0,12	0,25	0,09
Mínimo	-0,14	-0,13	-0,16	-0,21	-0,13
Desv. est.	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
Asimetría	0,33	0,33	-0,19	0,83	-0,02
Curtosis	14,14	11,45	16,84	15,69	85,84
Jarque-Bera	18.455	10.640	28.394	24.296	4.622
Prob.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

<i>n= 3.557</i>	Microsoft	Procter& Gamble	Walt Disney	Walmart	Wells Fargo
Media	1,77E-04	3,12E-04	5,42E-04	2,13E-04	7,04E-04
Mediana	0,00	2,26E-04	3,55E-04	1,96E-04	0,00
Máximo	0,20	0,10	0,16	0,11	0,33
Mínimo	-0,16	-0,30	-0,18	-0,09	-0,24
Desv. est.	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
Asimetría	0,21	-2,68	0,27	0,31	1,89
Curtosis	12,48	64,07	11,05	84,53	32,17
Jarque-Bera	13.347	557.084	9.654	4.463	128.199
Prob.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

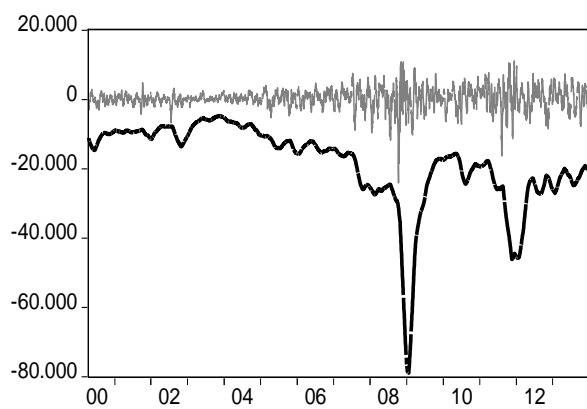


## Anexo 5. Capital mínimo regulatorio en base al VaR EWMA. 2000-2014

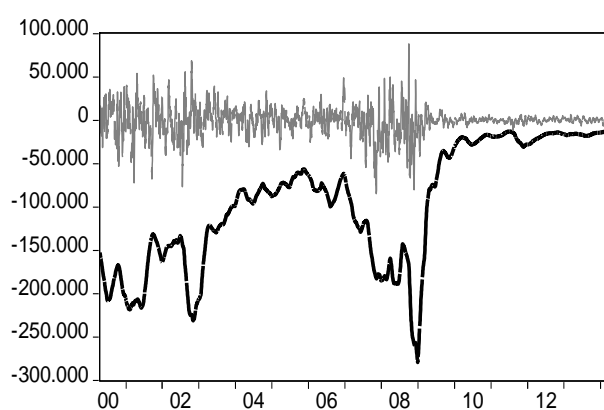




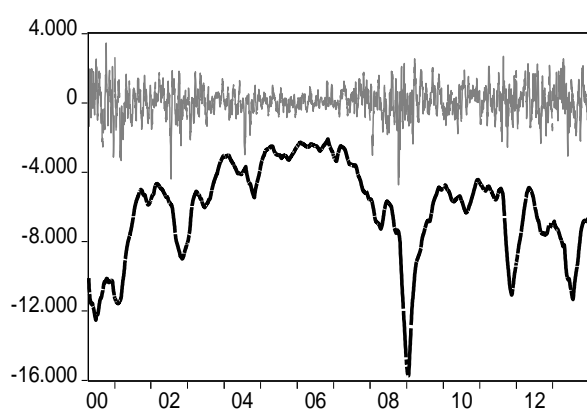
— CMR Boeing — Variación 10d



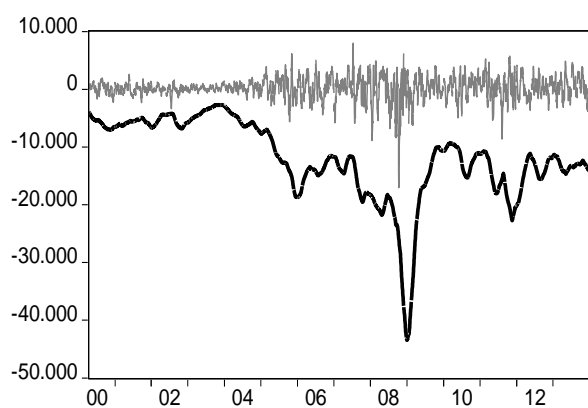
— CMR Chevron — Variación 10d



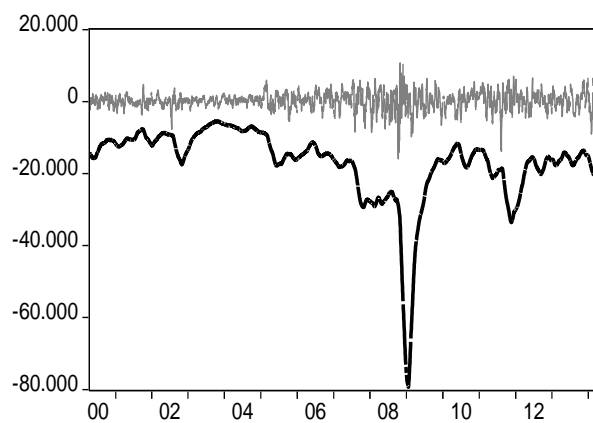
— CMR Citi — Variación 10d



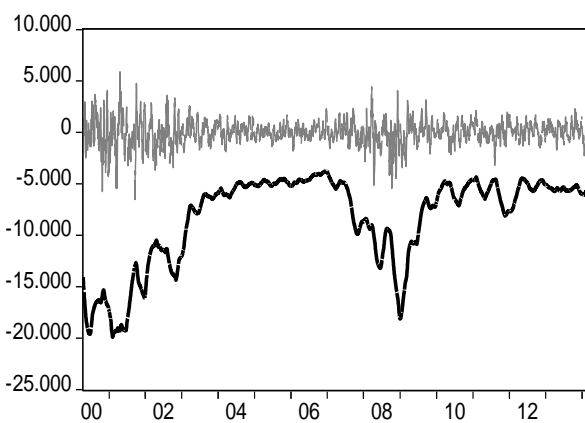
— CMR Coca-Cola — Variación 10d



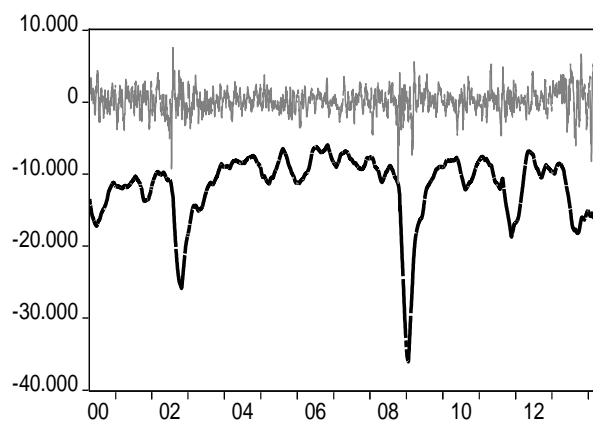
— CMR Conoco — Variación 10d



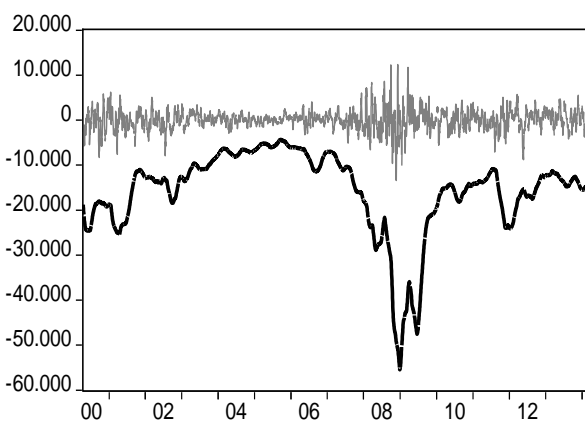
— CMRExxon — Variación 10d



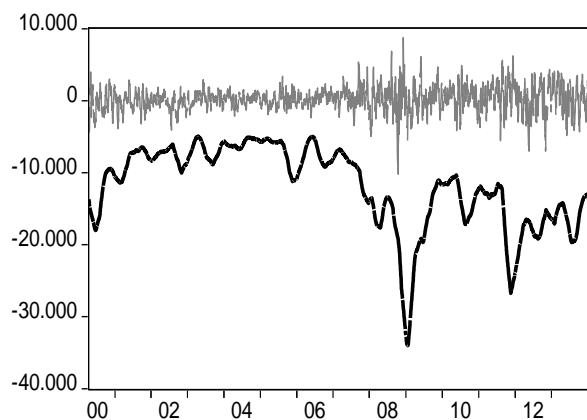
— CMR General Electric  
— Variación 10d



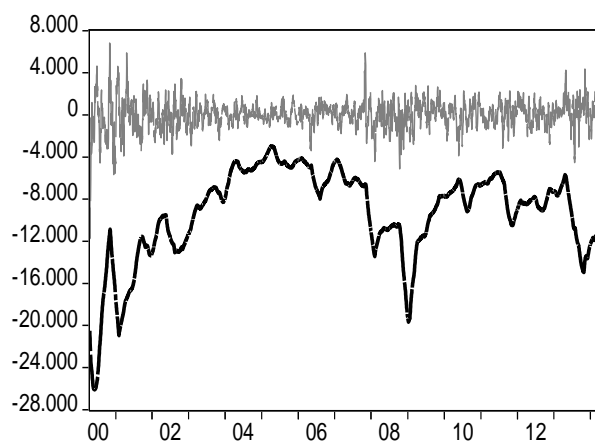
— CMR Johnson & Johnson  
— Variación 10d



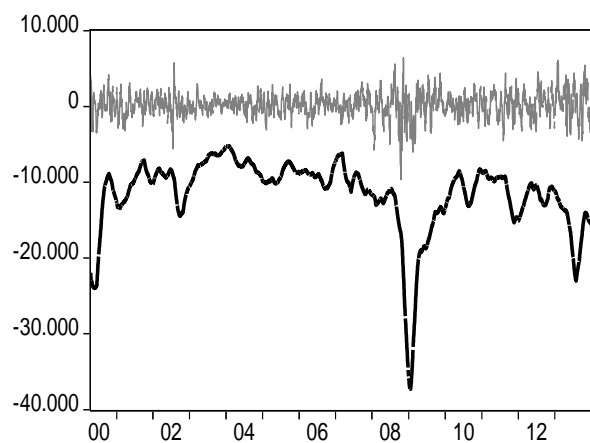
— CMR JP Morgan — Variación 10d



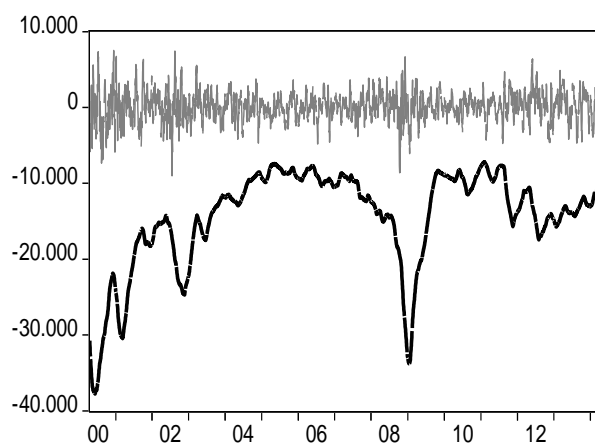
— CMR McDonalds — Variación 10d



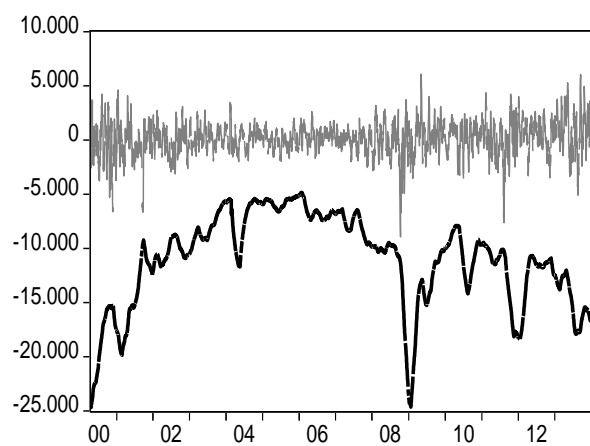
— CMR Microsoft — Variación 10d



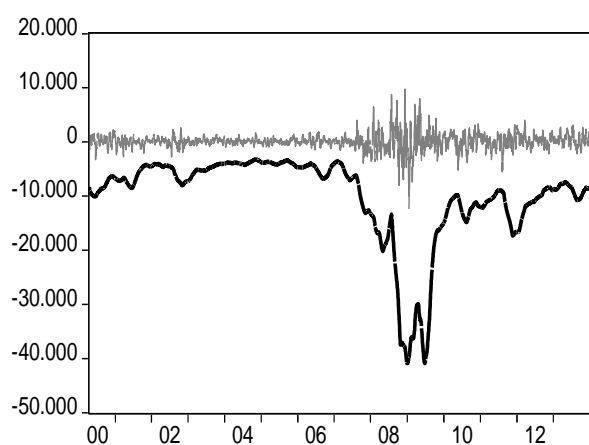
— CMR Procter & Gamble  
— Variación 10d



— CMR Walmart — Variación 10d



— CMR Walt Disney — Variación 10d



— CMR Wells Fargo — Variación 10d

## Anexo 6. Resultados de las estimaciones de los modelos GARCH

Empresa	$\hat{\mu}$	Empresa	$\hat{\alpha}_0$	$\hat{\alpha}_1$	$\hat{\beta}$
AIG	4,5E-04 *	AIG	5,720E-06	0,119	0,868
American Express	9,0E-04	American Express	1,800E-06	0,077	0,919
Apple	2,4E-03	Apple	4,370E-05	0,102	0,863
Bank of America	6,0E-04	Bank of America	4,870E-07	0,022	0,973
Berkshire Hathaway	5,7E-04	Berkshire Hathaway	5,130E-06	0,190	0,801
Boeing	1,5E-03	Boeing	7,990E-06	0,093	0,888
Chevron	9,0E-04	Chevron	4,630E-06	0,065	0,912
Citigroup	6,2E-04	Citigroup	1,460E-06	0,076	0,920
Coca Cola	4,4E-04 *	Coca Cola	5,930E-07	0,033	0,963
Conoco	1,0E-03	Conoco	1,380E-06	0,042	0,953
Exxon	8,4E-04	Exxon	3,300E-06	0,061	0,923
General Electric	4,1E-04 *	General Electric	2,080E-07	0,024	0,974
Johnson & Johnson	5,4E-04	Johnson & Johnson	1,430E-06	0,078	0,916
JP Morgan	6,4E-04	JP Morgan	8,360E-07	0,067	0,933
McDonalds	6,8E-04 *	McDonalds	1,520E-06	0,048	0,948
Microsoft	3,6E-04 *	Microsoft	4,270E-06	0,068	0,924
Procter&Gamble	5,5E-04	Procter&Gamble	3,350E-07	0,013	0,983
Walt Disney Co.	8,4E-04	Walt Disney Co.	4,130E-06	0,088	0,910
Walmart	-2,7E-05 *	Walmart	6,420E-07	0,026	0,970
Wells Fargo	5,6E-04	Wells Fargo	5,270E-07	0,040	0,955

\*no significativos al 5%

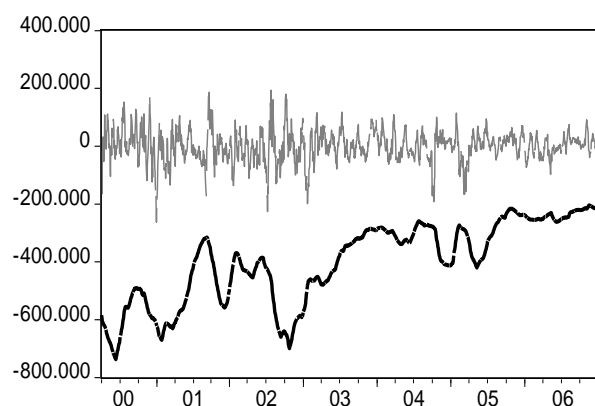
Si  $\hat{\mu}$  no es significativamente distinto de cero, se reestiman los modelos sin término constante. Los resultados de las nuevas estimaciones se muestran a continuación.

$$R_t = \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t / \sigma_t \sim N(0, \sigma_t^2)$$

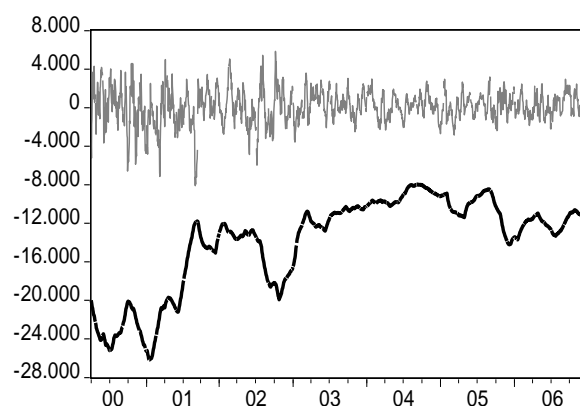
$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Empresa	$\hat{\alpha}_0$	$\hat{\alpha}_1$	$\hat{\beta}$
AIG	5,97E-06	0,120	0,865
Coca Cola	5,66E-06	0,030	0,965
General Electric	2,10E-07	0,024	0,974
McDonalds	1,58E-06	0,047	0,948
Microsoft	4,33E-06	0,069	0,922
Walmart	6,42E-07	0,025	0,970

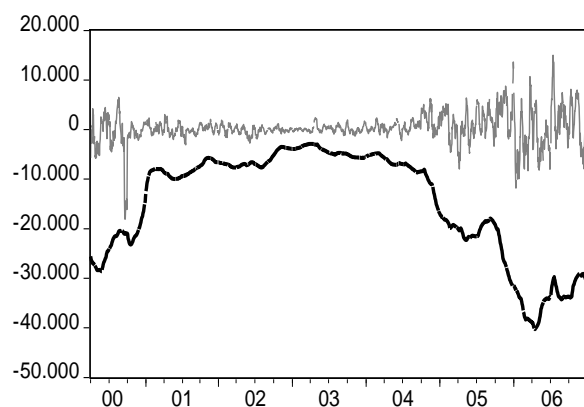
## Anexo 7. Capital mínimo regulatorio en base al VaR GARCH. 2000-2006



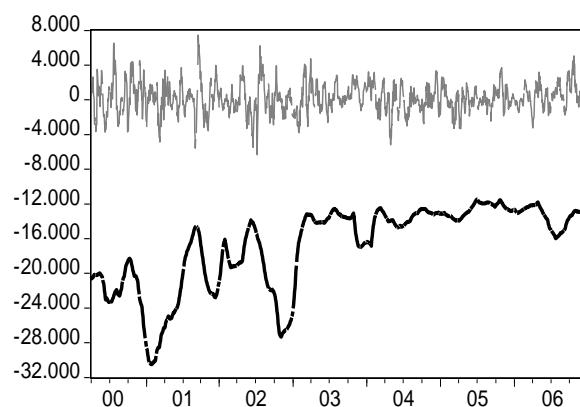
— CMR AIG — Variación 10d



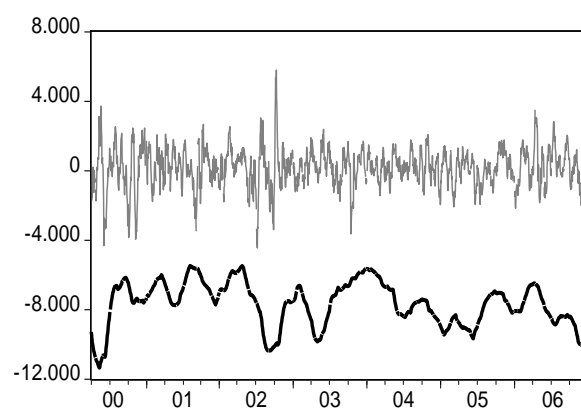
— CMR American Express  
— Variación 10d



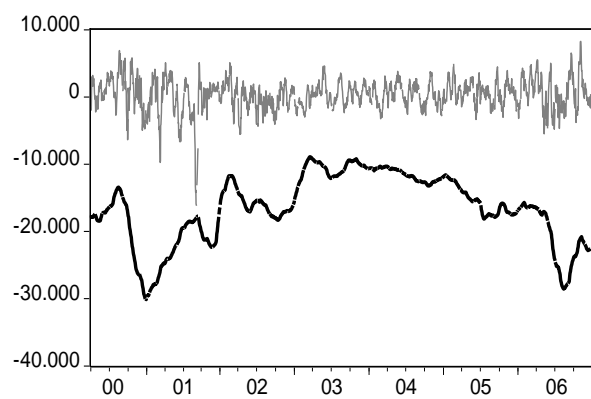
— CMR Apple — Variación 10d



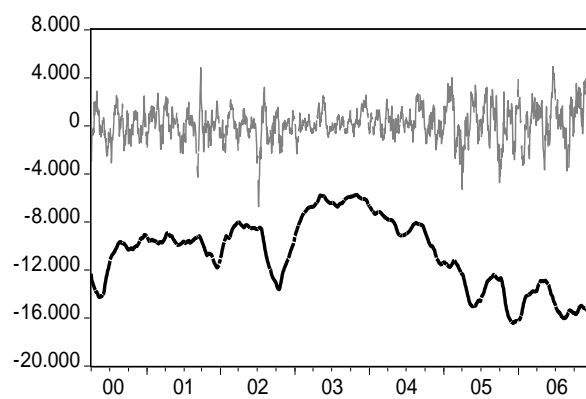
— CMR Berkshire Hathaway  
— Variación 10d



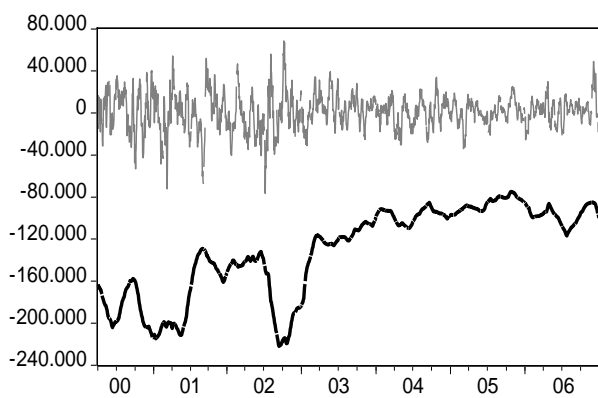
— CMR Bank of America  
— Variación 10d



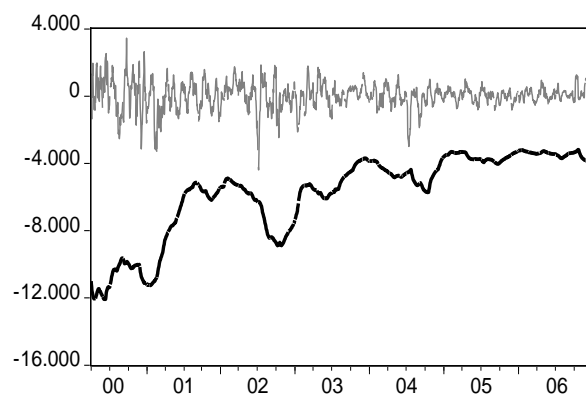
— CMR Boeing — Variación 10d



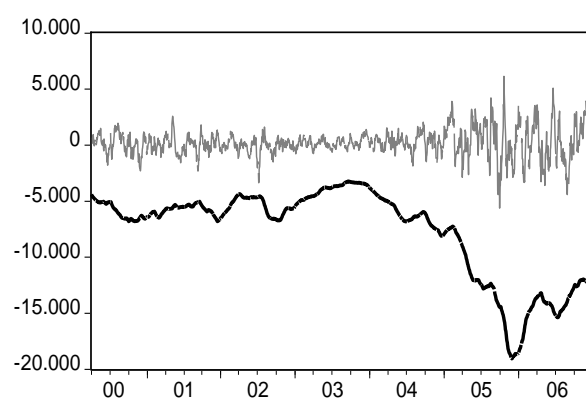
— CMR Chevron — Variación 10d



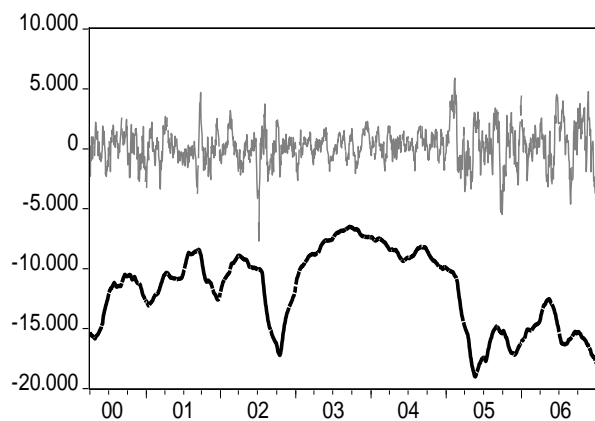
— CMR Citigroup — Variación 10d



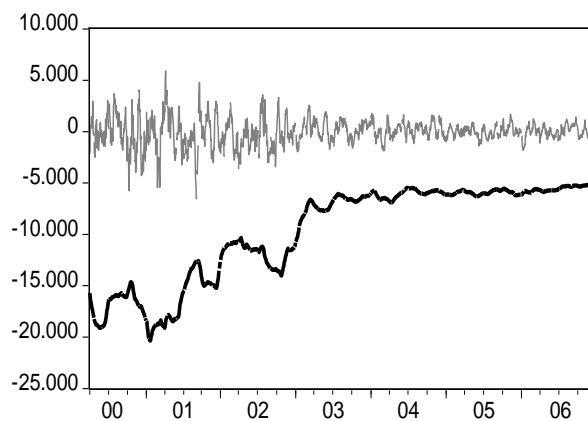
— CMR Coca Cola — Variación 10d



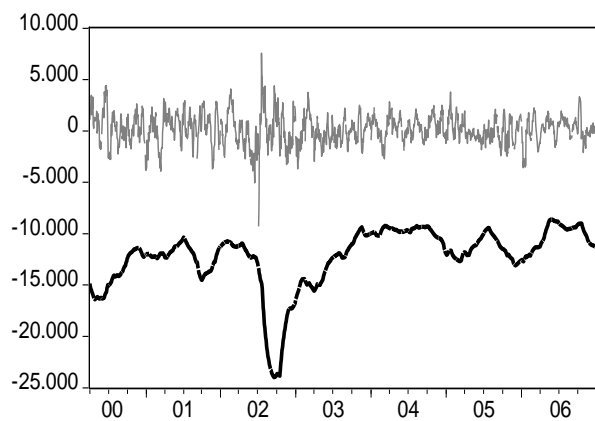
— CMR Conoco Philips — Variación 10d



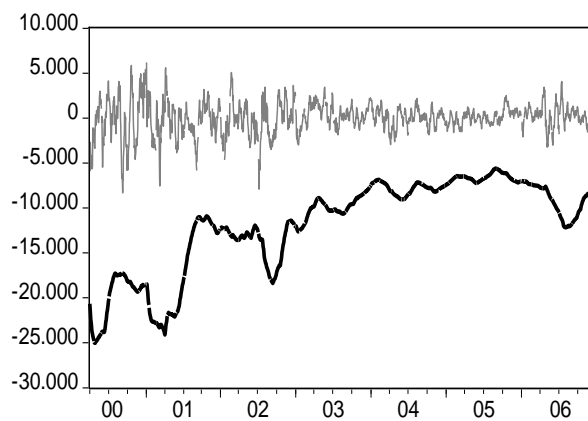
— CMR Exxon — Variación 10d



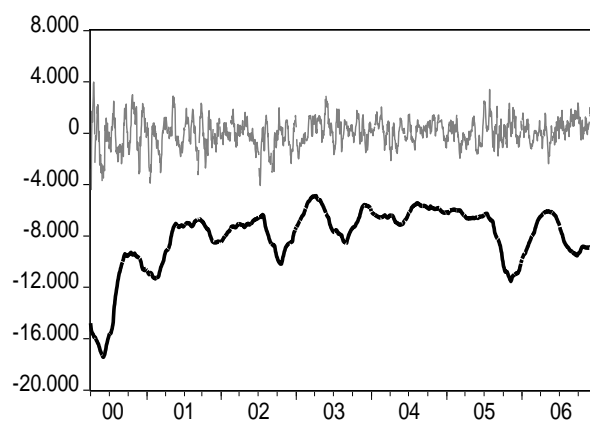
— CMR General Electric — Variación 10d



— CMR Johnson & Johnson — Variación 10d

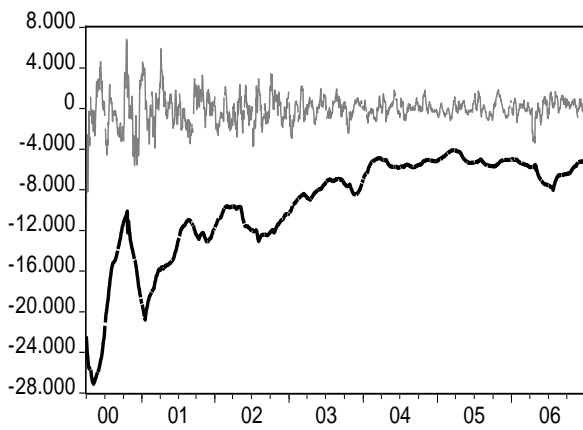


— CMR JP Morgan — Variación 10d

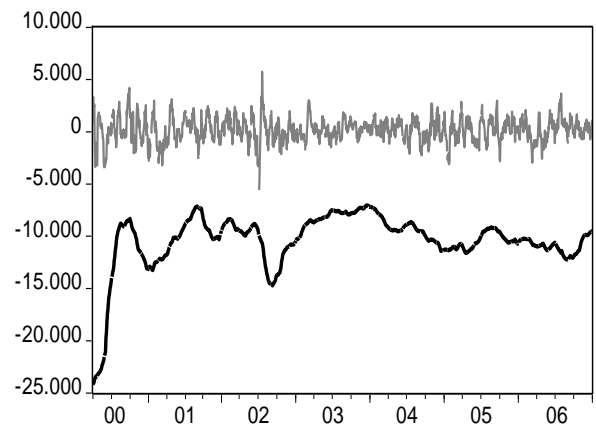


— CMR McDonalds — Variación 10d

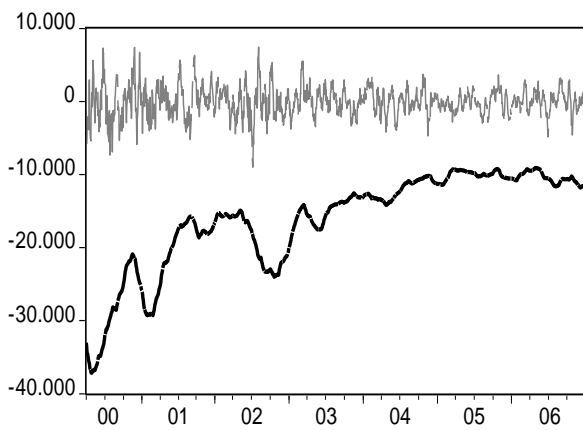




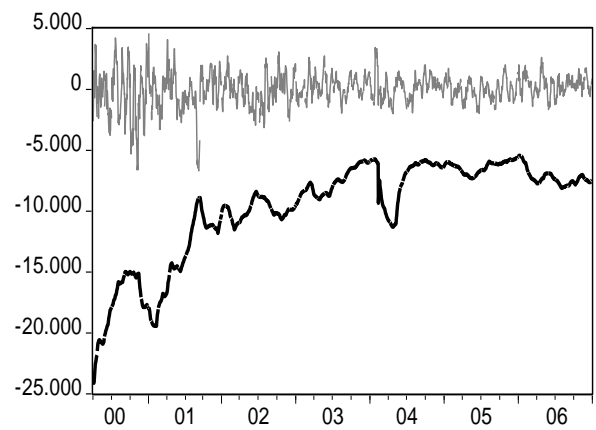
— CMR Microsoft — Variación 10d



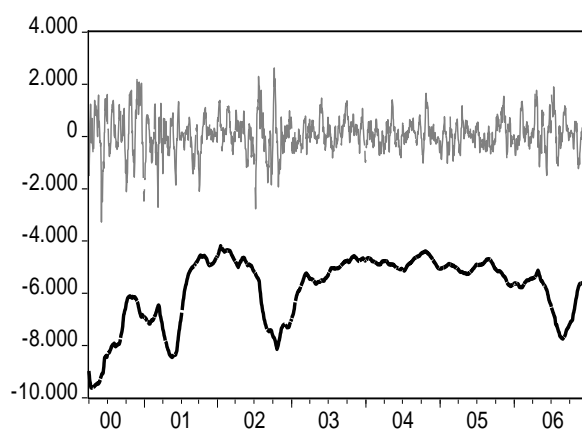
— CMR Procter & Gamble  
— Variación 10d



— CMR Walmart — Variación 10d

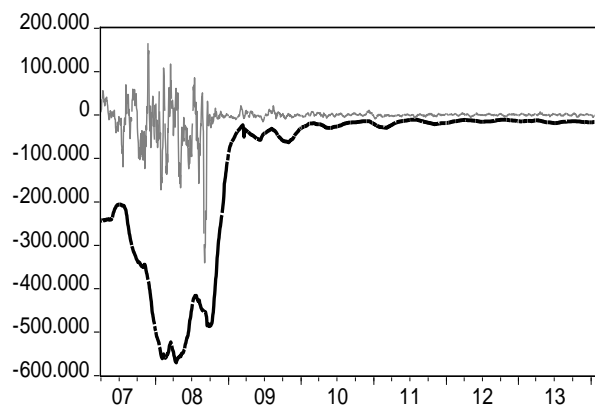


— CMR Walt Disney — Variación 10d

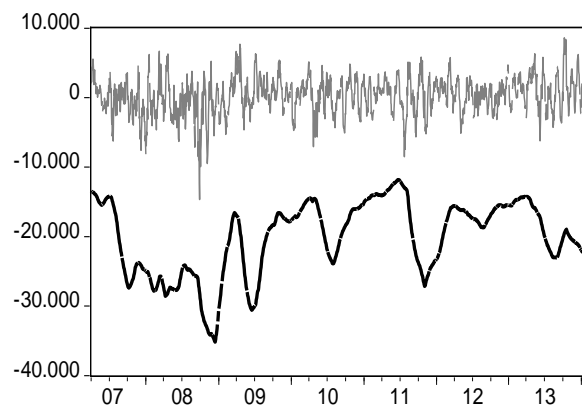


— CMR Wells Fargo — Variación 10d

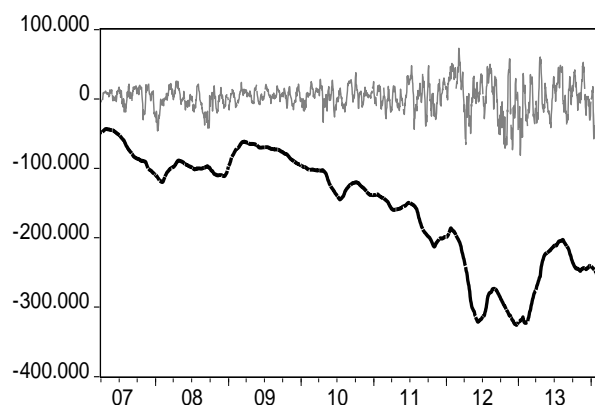
## Anexo 8. Capital mínimo regulatorio en base al VaR GARCH. 2007-2014



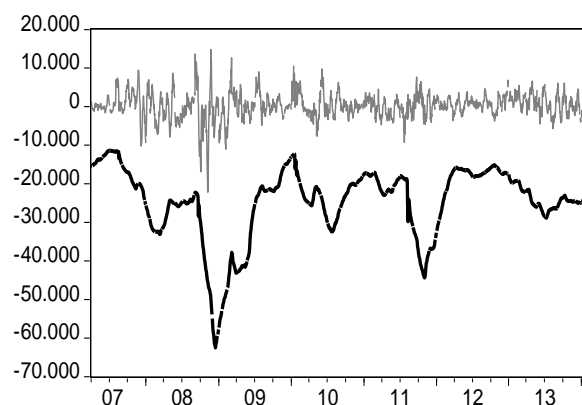
— CMR AIG — Variación 10d



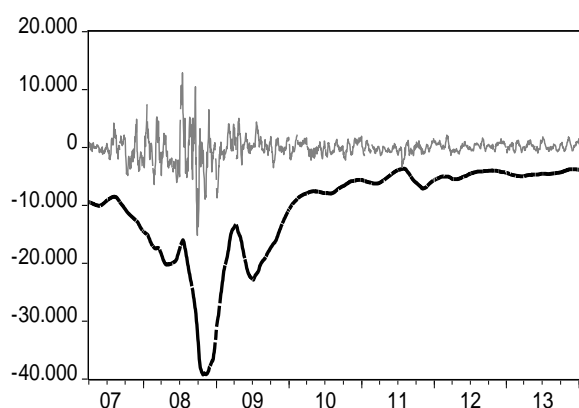
— CMR American Express — Variación 10d



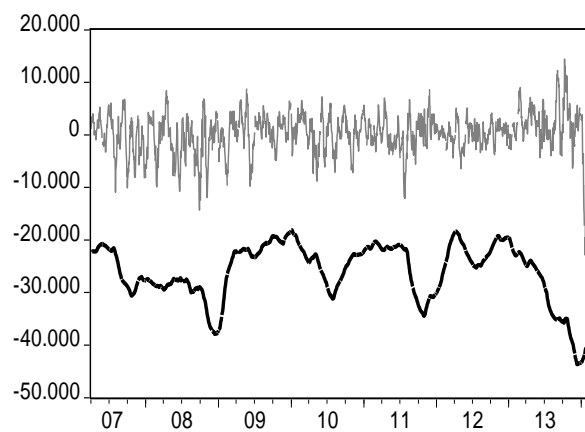
— CMR Apple — Variación 10d



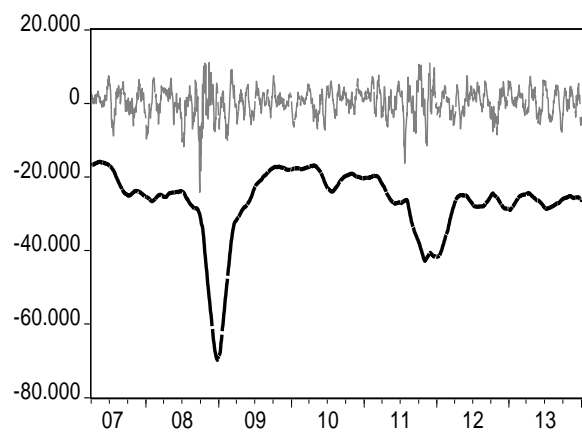
— CMR Berkshire Hathaway — Variación 10d



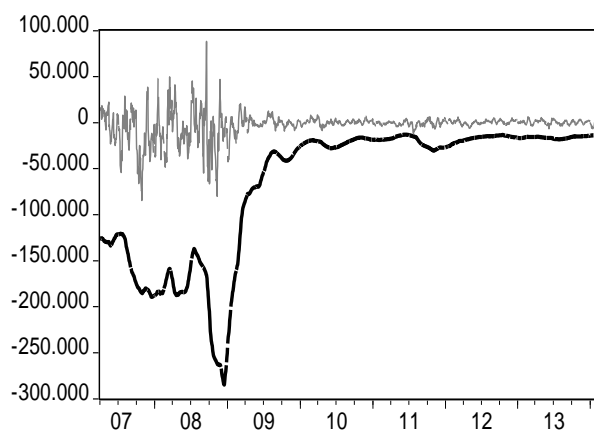
— CMR Bank of America — Variación 10d



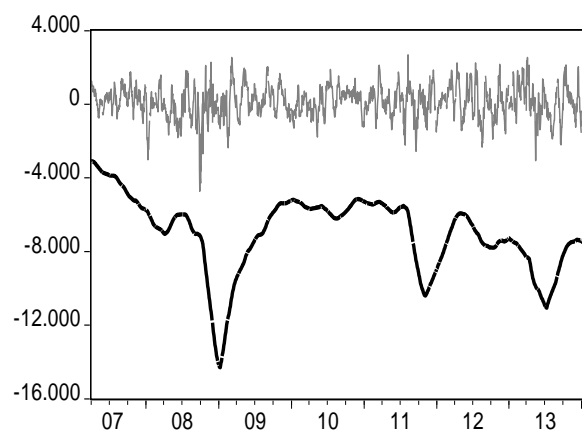
— CMR Boeing — Variación 10d



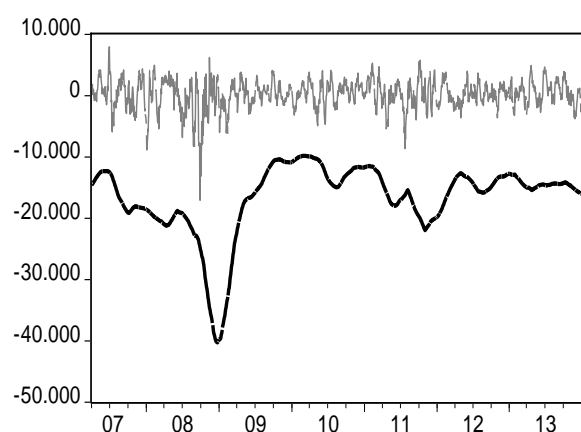
— CMR Chevron — Variación 10d



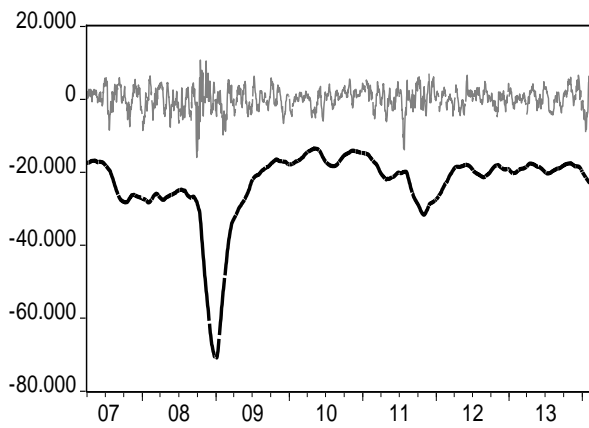
— CMR Citigroup — Variación 10d



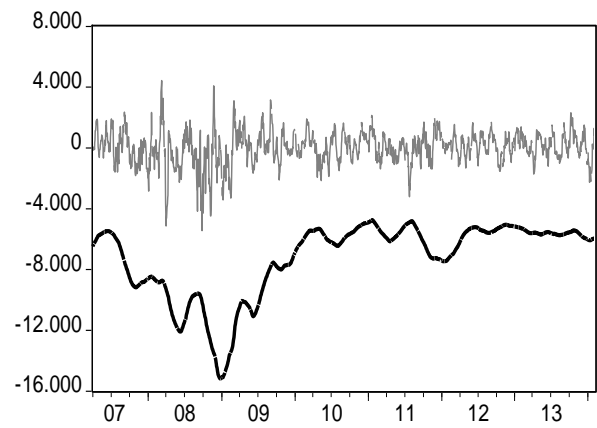
— CMR Coca Cola — Variación 10d



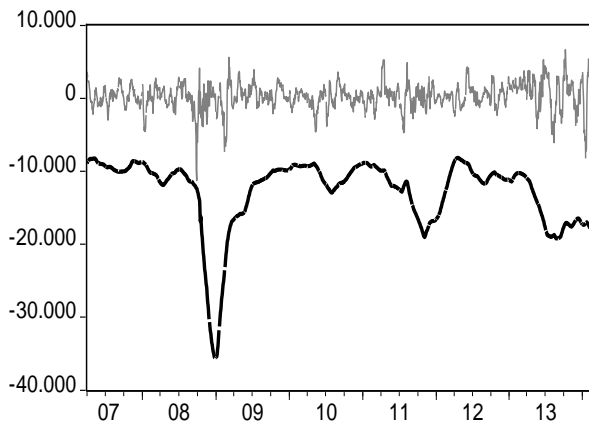
— CMR ConocoPhillips — Variación 10d



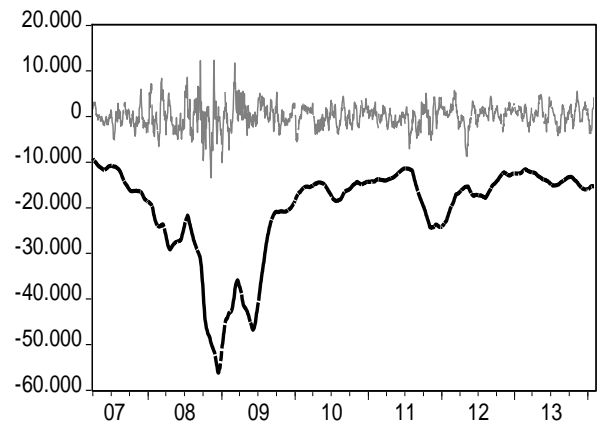
— CMR Exxon — Variación 10d



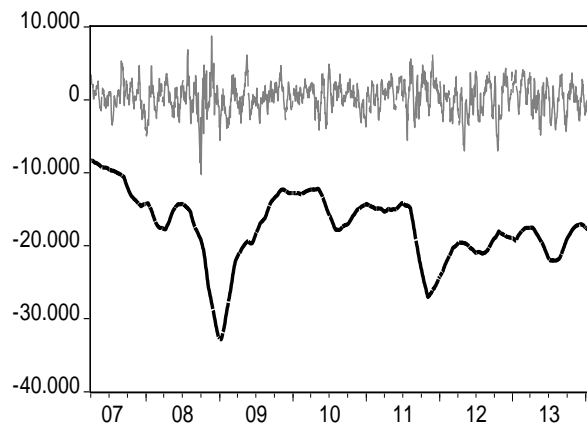
— CMR General Electric — Variación 10d



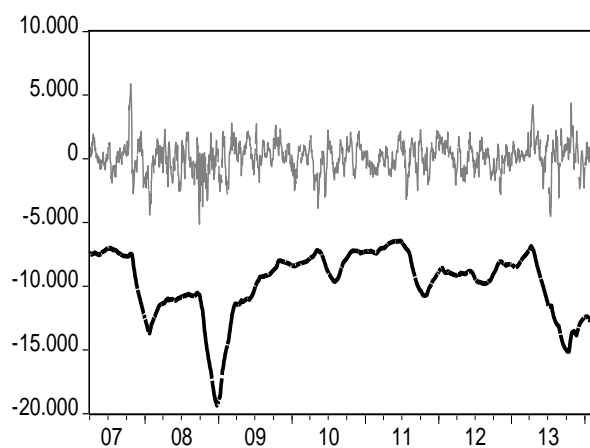
— CMR Johnson & Johnson — Variación 10d



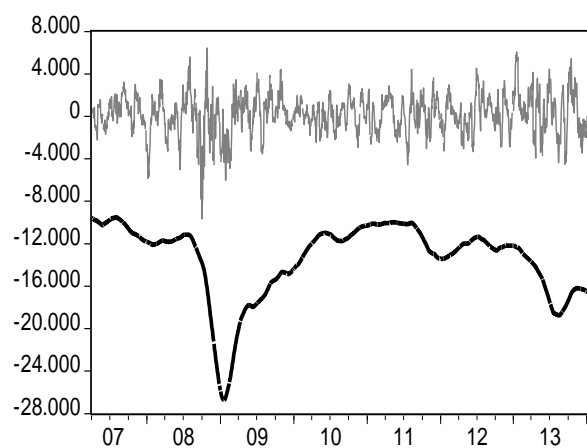
— CMR JPMorgan — Variación 10d



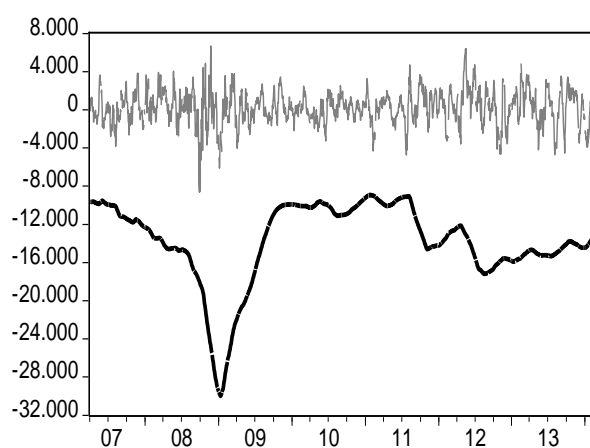
— CMR McDonalds — Variación 10d



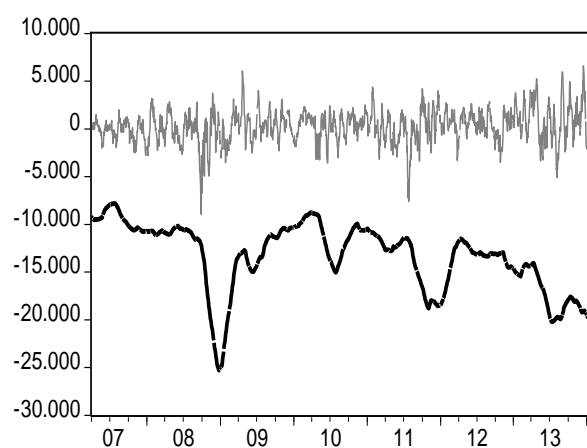
— CMR Microsoft — Variación 10d



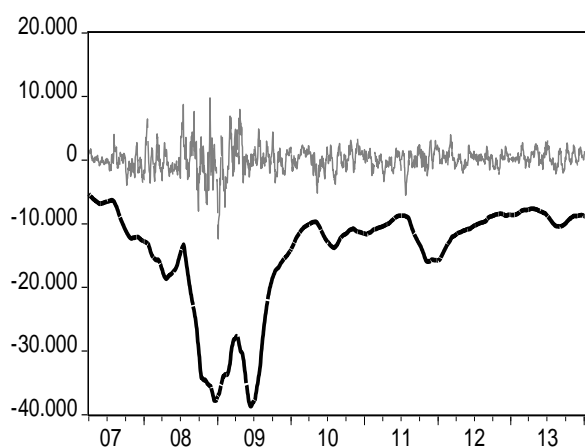
— CMR Procter& Gamble — Variación 10d



— CMR Walmart — Variación 10d



— CMR Walt Disney — Variación 10d



— CMR Wells Fargo — Variación 10d

## Anexo 9. Cálculo de la duración de un bono

El precio de un bono se calcula como:  $P = \sum_{i=1}^n F_i(1+r)^{-t_i}$

Para un bono a 10 años:  $P = \sum_{i=1}^{10} F_i(1+r)^{-t_i}$

El precio de un bono con vencimiento a 10 años que paga cupones anuales del 4% y un nominal de 100 USD en el vencimiento, con una TIR = 4%, es igual a 100 USD:

$$\begin{aligned} P &= \frac{4\%}{(1+4\%)} + \frac{4\%}{(1+4\%)^2} + \frac{4\%}{(1+4\%)^3} + \frac{4\%}{(1+4\%)^4} \\ &+ \frac{4\%}{(1+4\%)^5} + \frac{4\%}{(1+4\%)^6} + \frac{4\%}{(1+4\%)^7} + \frac{4\%}{(1+4\%)^8} \\ &+ \frac{4\%}{(1+4\%)^9} + \frac{104\%}{(1+4\%)^{10}} = 100 \end{aligned}$$

La duración de un bono es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n t_i F_i(1+r)^{-t_i}}{P}$$

La duración calculada para el bono a 10 años del ejemplo anterior es igual a 8,44 años.

$$\begin{aligned} D \times 100 &= 1 \times \frac{4\%}{(1+4\%)} + 2 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^2} + 3 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^3} + 4 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^4} \\ &+ 5 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^5} + 6 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^6} + 7 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^7} + 8 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^8} \\ &+ 9 \times \frac{4\%}{(1+4\%)^9} + 10 \times \frac{104\%}{(1+4\%)^{10}} = 8,44 \end{aligned}$$

Valor actual de los flujos futuros descontados con la TIR del 4%.

Plazos	Flujos futuros	Flujos actualizados
1	4	3,85
2	4	3,70
3	4	3,56
4	4	3,42
5	4	3,29
6	4	3,16
7	4	3,04
8	4	2,92
9	4	2,81
10	104	70,26

## Anexo 10. Cálculo de la variación diaria y a 10 días del precio de los bonos del Tesoro utilizando la sensibilidad

Las variaciones diarias y a 10 días de los precios se presenta a continuación para el primer mes del periodo analizado.

		Duración	8	Precio	100.000.000
Fecha	Tipo de interés	Primera diferencia	Sensibilidad	Variación Precio 1 día	Variación Precio 10 días
03/01/2000	6,58%				
04/01/2000	6,49%	-0,09%	7,506	675.548,88	-
05/01/2000	6,62%	0,13%	7,512	-976.617,52	-
06/01/2000	6,57%	-0,05%	7,503	375.164,13	-
07/01/2000	6,52%	-0,05%	7,507	375.340,15	-
10/01/2000	6,57%	0,05%	7,510	-375.516,33	-
11/01/2000	6,67%	0,10%	7,507	-750.680,30	-
12/01/2000	6,72%	0,05%	7,500	-374.988,28	-
13/01/2000	6,63%	-0,09%	7,496	674.662,67	-
14/01/2000	6,69%	0,06%	7,503	-450.154,74	-
17/01/2000	6,72%	0,03%	7,498	-224.950,79	-1.050.853,82
18/01/2000	6,75%	0,03%	7,496	-224.887,56	-1.953.235,05
19/01/2000	6,73%	-0,02%	7,494	149.882,90	-825.361,10
20/01/2000	6,79%	0,06%	7,496	-449.732,97	-1.651.496,67
21/01/2000	6,79%	0,00%	7,491	0,00	-2.027.788,21
24/01/2000	6,69%	-0,10%	7,491	749.133,81	-900.816,36
25/01/2000	6,70%	0,01%	7,498	-74.983,60	-224.992,97
26/01/2000	6,69%	-0,01%	7,498	74.976,57	224.887,56
27/01/2000	6,68%	-0,01%	7,498	74.983,60	-375.128,95
28/01/2000	6,66%	-0,02%	7,499	149.981,25	224.950,79
31/01/2000	6,68%	0,02%	7,500	-150.009,38	299.850,07
01/02/2000	6,62%	-0,06%	7,499	449.943,76	974.238,88



## Anexo 11. Cálculo de la variación diaria y a 10 días del precio de los bonos corporativos utilizando la sensibilidad

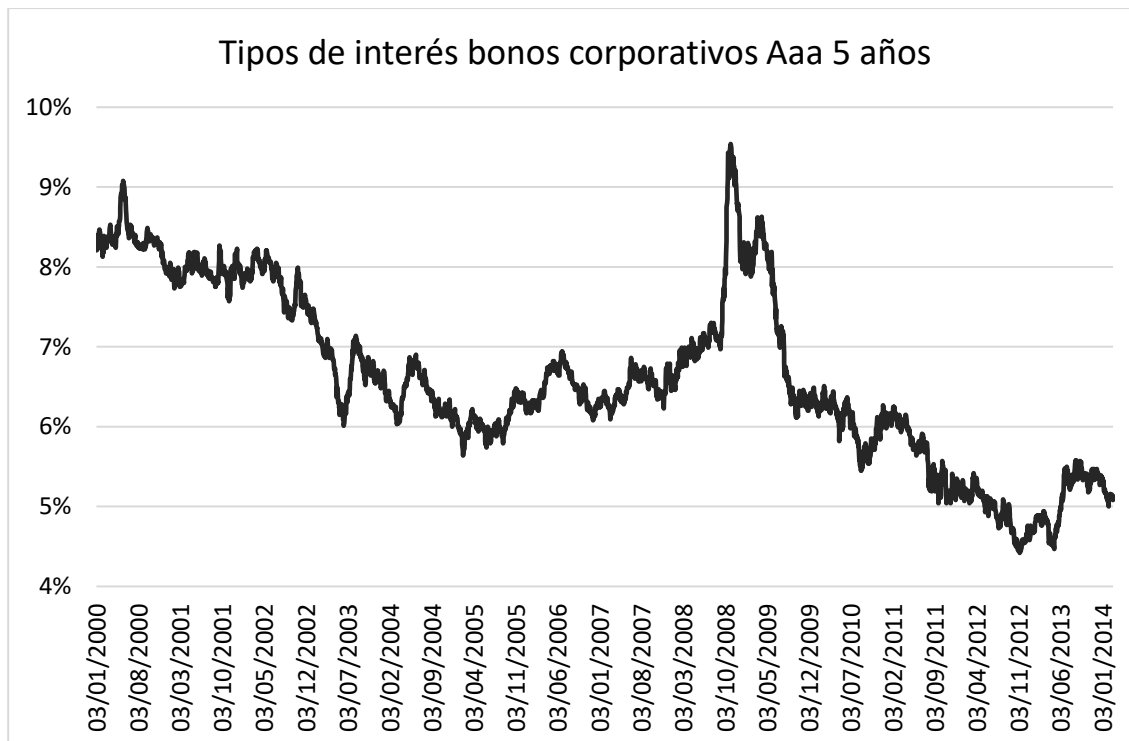
El presente anexo muestra las variaciones diarias y a 10 días del primer mes del año 2000.

		Duración		4	Precio	100.000.000
Fecha	Tipo de interés	Primera diferencia	Sensibilidad	Variación Precio 1 día	Variación Precio 10 días	
03/01/2000	8,27%					
04/01/2000	8,21%	-0,06%	3,694	221.668,05	-	
05/01/2000	8,29%	0,08%	3,697	-295.721,28	-	
06/01/2000	8,24%	-0,05%	3,694	184.689,26	-	
07/01/2000	8,22%	-0,02%	3,695	73.909,83	-	
10/01/2000	8,27%	0,05%	3,696	-184.808,72	-	
11/01/2000	8,36%	0,09%	3,694	-332.502,08	-	
12/01/2000	8,40%	0,04%	3,691	-147.655,96	-	
13/01/2000	8,38%	-0,02%	3,690	73.800,74	-	
14/01/2000	8,42%	0,04%	3,691	-147.628,71	-	
17/01/2000	8,45%	0,03%	3,689	-92.233,91	-646.531,82	
18/01/2000	8,47%	0,03%	3,689	-92.212,64	-961.094,17	
19/01/2000	8,43%	-0,04%	3,688	147.506,22	-517.129,93	
20/01/2000	8,45%	0,02%	3,689	-73.780,32	-776.053,22	
21/01/2000	8,42%	-0,03%	3,688	110.650,07	-739.234,89	
24/01/2000	8,36%	-0,06%	3,689	221.361,37	-332.502,08	
25/01/2000	8,33%	-0,03%	3,691	110.741,97	110.741,97	
26/01/2000	8,28%	-0,05%	3,692	184.621,07	442.804,43	
27/01/2000	8,23%	-0,05%	3,694	184.706,32	553.607,68	
28/01/2000	8,26%	0,03%	3,696	-110.874,99	590.296,99	
31/01/2000	8,36%	0,10%	3,695	-369.480,88	313.522,98	
01/02/2000	8,27%	-0,09%	3,691	332.225,91	737.531,11	

## Anexo 12. Evolución tipos de interés

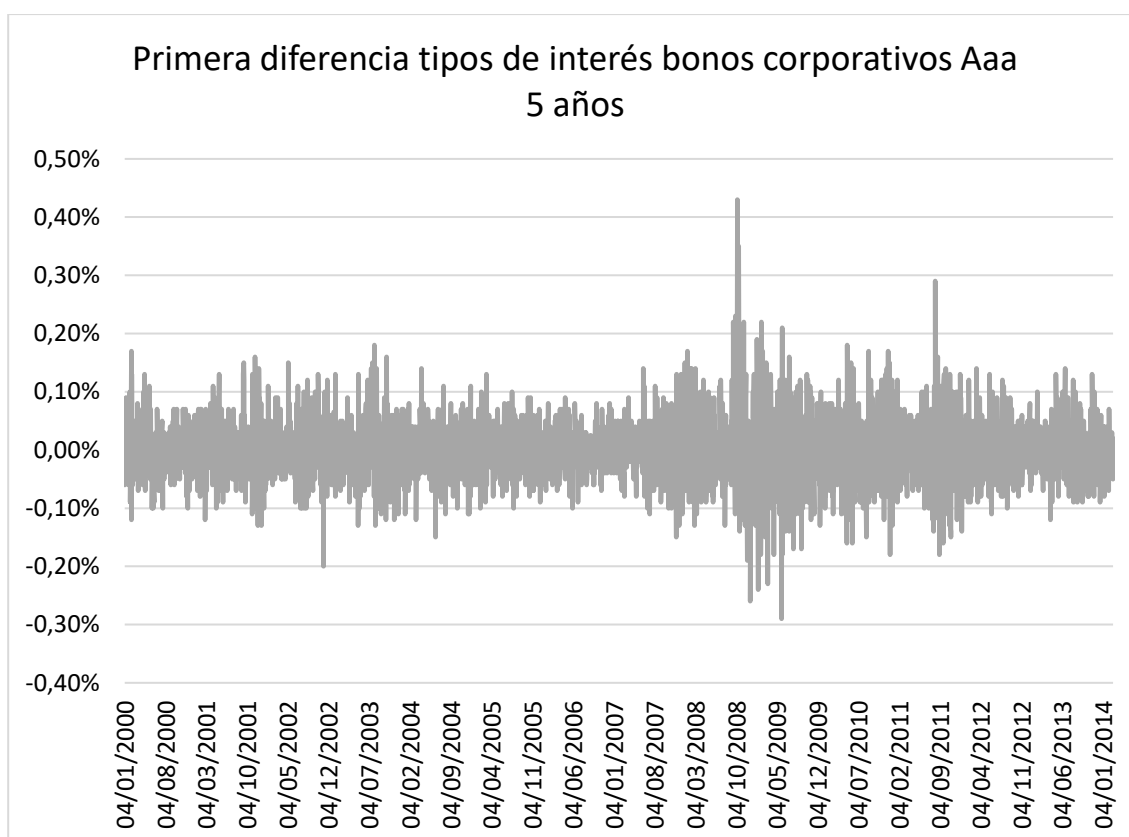
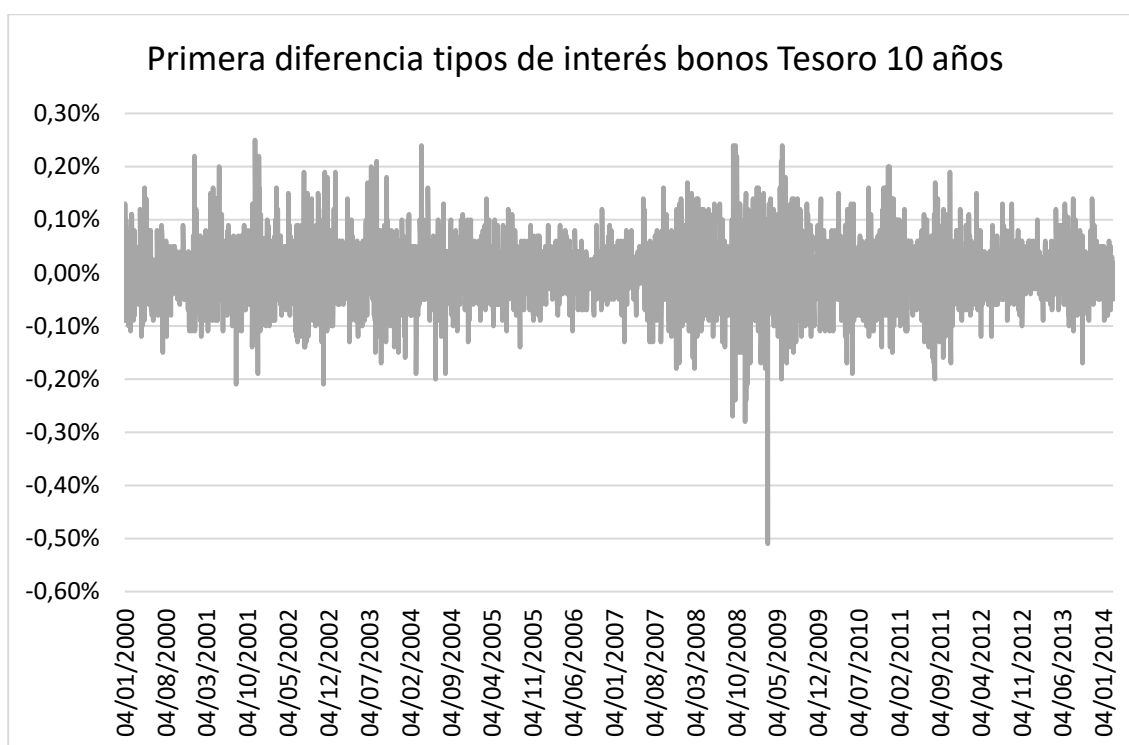


Fuente: Tesoro EEUU



Fuente: Tesoro EEUU

### Anexo 13. Gráficos y principales estadísticos de las primeras diferencias de los tipos de interés de los bonos analizados



Principales estadísticos	Primera diferencia TIR Bonos corporativos	Primera diferencia TIR Bonos Tesoro
Media	-8.64E-06	-1.05E-05
Mediana	0.000000	0.000000
Máximo	0.004300	0.002500
Mínimo	-0.002900	-0.005100
Desv. est.	0.000538	0.000600
Asimetría	0.324094	-0.045069
Curtosis	5.967092	5.537250
Jarque-Bera	1418.541	991.3043
Probabilidad	0.000000	0.000000
Observaciones	3691	3691

## Anexo 14. Coeficientes estimados con modelos GARCH (1,1) para calcular la volatilidad condicional de las primeras diferencias de los tipos de interés de los bonos

Las variables TIR\_TESORO y TIR\_CORP son las primeras diferencias de los tipos de interés del Tesoro y de los bonos corporativos.

### 16.1 Bonos del Tesoro, con término constante

Dependent Variable: TIR\_TESORO  
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)  
Sample: 1/04/2000 12/29/2006  
Included observations: 1824  
Convergence achieved after 35 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients  
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)  
GARCH = C(2) + C(3)\*RESID(-1)^2 + C(4)\*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-9.46E-06	1.20E-05	-0.789604	0.4298
Variance Equation				
C	2.02E-09	8.67E-10	2.325020	0.0201
RESID(-1)^2	0.031838	0.005016	6.347839	0.0000
GARCH(-1)	0.961373	0.005820	165.1933	0.0000
R-squared	-0.000002	Mean dependent var	-1.03E-05	
Adjusted R-squared	-0.000002	S.D. dependent var	0.000558	
S.E. of regression	0.000558	Akaike info criterion	-12.20961	
Sum squared resid	0.000568	Schwarz criterion	-12.19753	
Log likelihood	11139.16	Hannan-Quinn criter.	-12.20515	
Durbin-Watson stat	1.907492			

## 16.2 Bonos corporativos, con término constante

Dependent Variable: TIR\_CORP  
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)  
Sample: 1/04/2000 12/29/2006  
Included observations: 1824  
Convergence achieved after 28 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients  
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)  
GARCH = C(2) + C(3)\*RESID(-1)^2 + C(4)\*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-1.27E-05	1.00E-05	-1.270042	0.2041
Variance Equation				
C	3.94E-09	1.61E-09	2.438336	0.0148
RESID(-1)^2	0.033358	0.007139	4.672756	0.0000
GARCH(-1)	0.946581	0.012789	74.01748	0.0000
R-squared	-0.000023	Mean dependent var	-1.05E-05	
Adjusted R-squared	-0.000023	S.D. dependent var	0.000451	
S.E. of regression	0.000451	Akaike info criterion	-12.60567	
Sum squared resid	0.000370	Schwarz criterion	-12.59359	
Log likelihood	11500.37	Hannan-Quinn criter.	-12.60122	
Durbin-Watson stat	1.901913			

## 16.3 Bonos del Tesoro, sin término constante

Dependent Variable: TIR\_TESORO  
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)  
Sample: 1/04/2000 12/29/2006  
Included observations: 1824  
Convergence achieved after 35 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients  
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)  
GARCH = C(1) + C(2)\*RESID(-1)^2 + C(3)\*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.94E-09	8.49E-10	2.289446	0.0221
RESID(-1)^2	0.031371	0.004881	6.427740	0.0000
GARCH(-1)	0.962064	0.005666	169.8108	0.0000
R-squared	-0.000337	Mean dependent var	-1.03E-05	
Adjusted R-squared	0.000211	S.D. dependent var	0.000558	
S.E. of regression	0.000558	Akaike info criterion	-12.21036	
Sum squared resid	0.000568	Schwarz criterion	-12.20130	
Log likelihood	11138.85	Hannan-Quinn criter.	-12.20702	
Durbin-Watson stat	1.906853			

## 16.4 Bonos corporativos, sin término constante

Dependent Variable: TIR\_CORP

Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)

Sample: 1/04/2000 12/29/2006

Included observations: 1824

Convergence achieved after 30 iterations

Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Presample variance: backcast (parameter = 0.7)

GARCH =  $C(1) + C(2)*RESID(-1)^2 + C(3)*GARCH(-1)$

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
Variance Equation				
C	3.79E-09	1.58E-09	2.393851	0.0167
RESID(-1)^2	0.032493	0.007049	4.609864	0.0000
GARCH(-1)	0.948204	0.012548	75.56555	0.0000
R-squared	-0.000546	Mean dependent var		-1.05E-05
Adjusted R-squared	0.000003	S.D. dependent var		0.000451
S.E. of regression	0.000451	Akaike info criterion		-12.60591
Sum squared resid	0.000370	Schwarz criterion		-12.59685
Log likelihood	11499.59	Hannan-Quinn criter.		-12.60256
Durbin-Watson stat	1.900919			

## Anexo 15. Gráficos de las volatilidades condicionales de las primeras diferencias de los tipos de interés de los bonos del Tesoro y corporativos

### 15.1 Volatilidades diarias EWMA

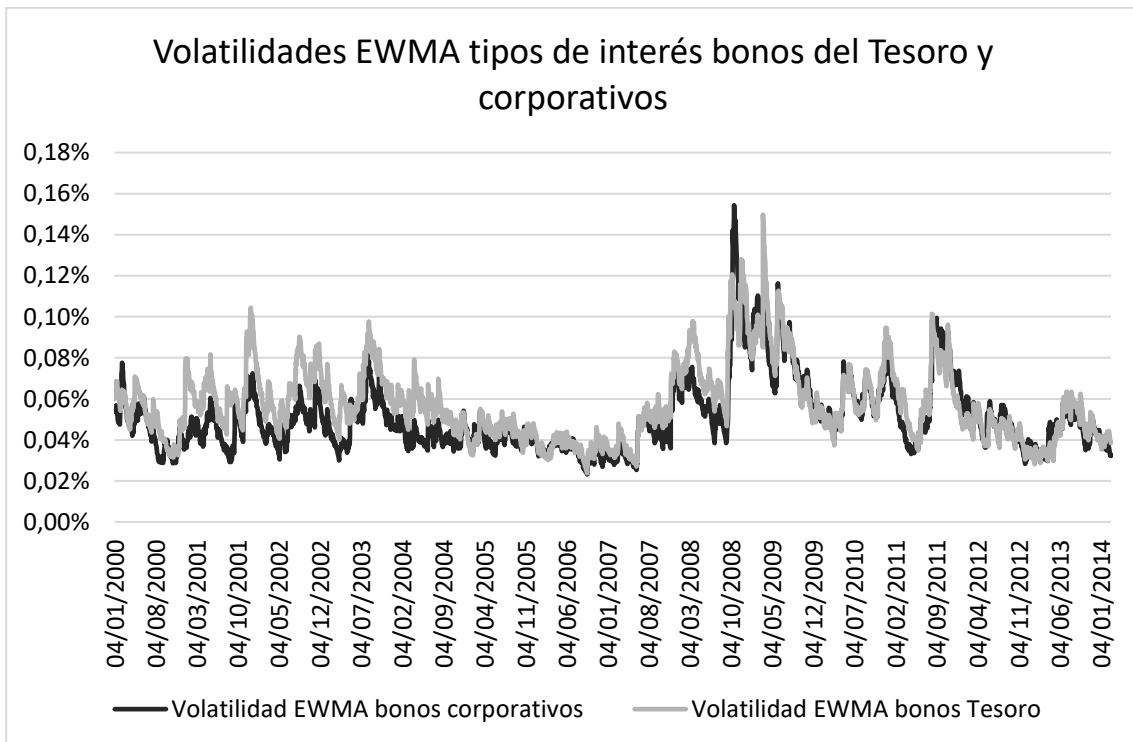
La primera volatilidad  $\sigma_{2|1}$  de la muestra, calculada el día 03/01/2000 para el día siguiente, el 04/01/2000, toma el valor de la desviación típica de los datos comprendidos en el periodo 2000-2014, calculada según la fórmula:

$$\hat{\sigma}_{2|1} = \sqrt{\frac{\sum_{t_i=1}^n (r_{t_i} - \bar{r})^2}{(n-1)}}$$

$n$  es igual a 3691, el número de observaciones diarias entre 2000-2014

$r_{t_i}$  es el valor de la primera diferencia en la fecha  $t_i$

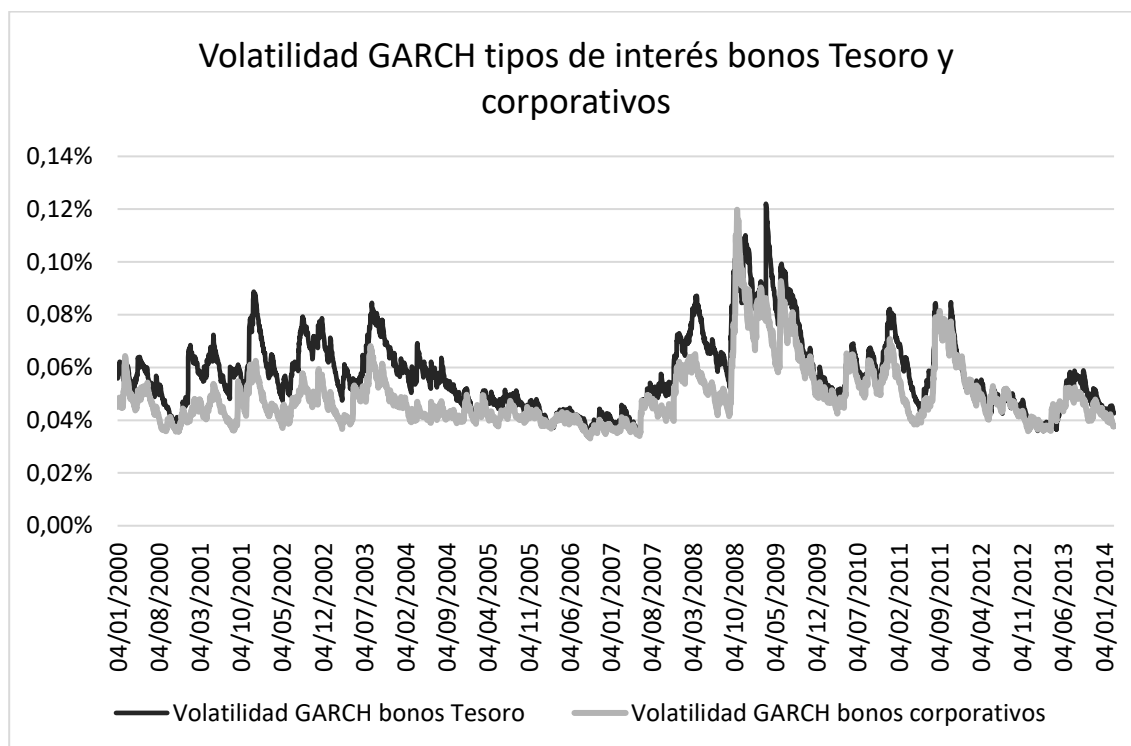
$\bar{r}$  es la media de las primeras diferencias entre 2000-2014



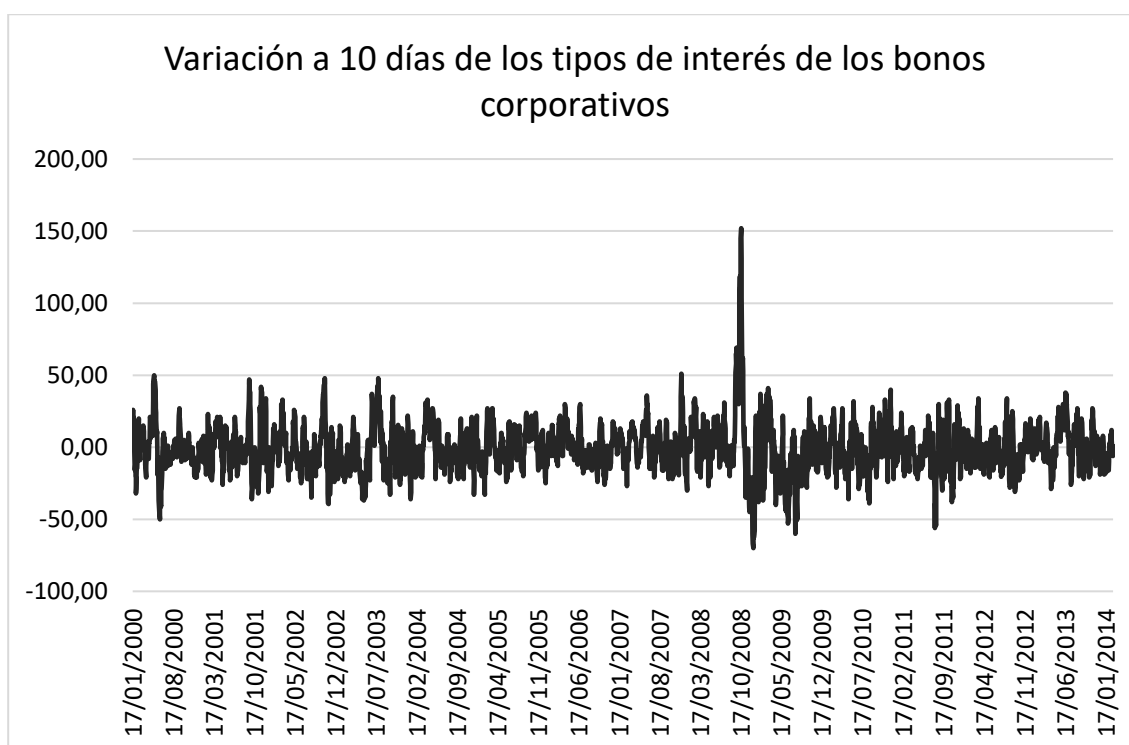


## 15.2 Volatilidades diarias GARCH

La primera volatilidad se calcula según el procedimiento mostrado en el Anexo 17 utilizando los datos del periodo 03/01/2000 – 29/12/2006.



## Anexo 16. Variación a 10 días de los tipos de interés de los bonos corporativos



La variación positiva de los tipos de interés que da lugar a la caída de los precios en los tres días en los que el capital regulatorio es inferior a las pérdidas (17, 20 y 21 de octubre de 2008) se recoge, expresada en puntos básicos, en la tabla de este anexo. En el gráfico anterior, se puede observar con facilidad el pico de 152 puntos básicos.

La media y varianza incondicional del periodo 2000-2014 son -0,9 y 17 puntos básicos respectivamente.

La variación a 10 días de los tipos de interés se calcula restando al valor de cada fecha  $t$  el valor en  $t-10$  y multiplicándola por la sensibilidad calculada en  $t-10$ . La sensibilidad es la duración dividida por 1 más el tipo de interés de  $t-10$ .

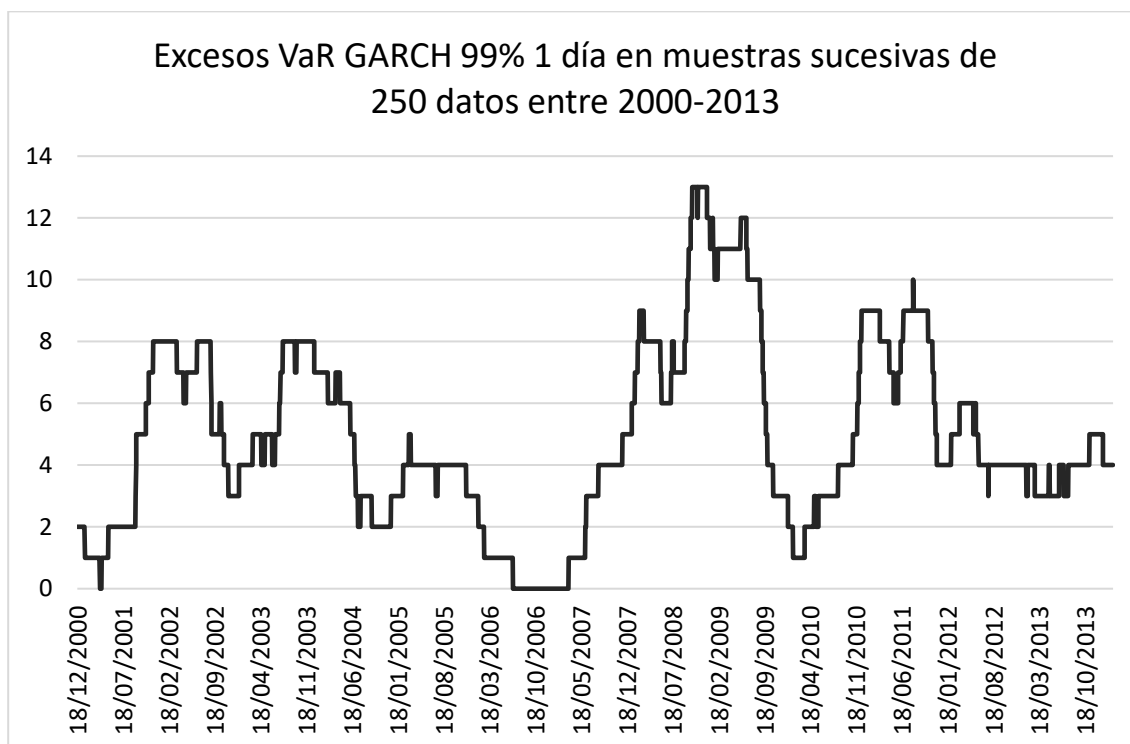
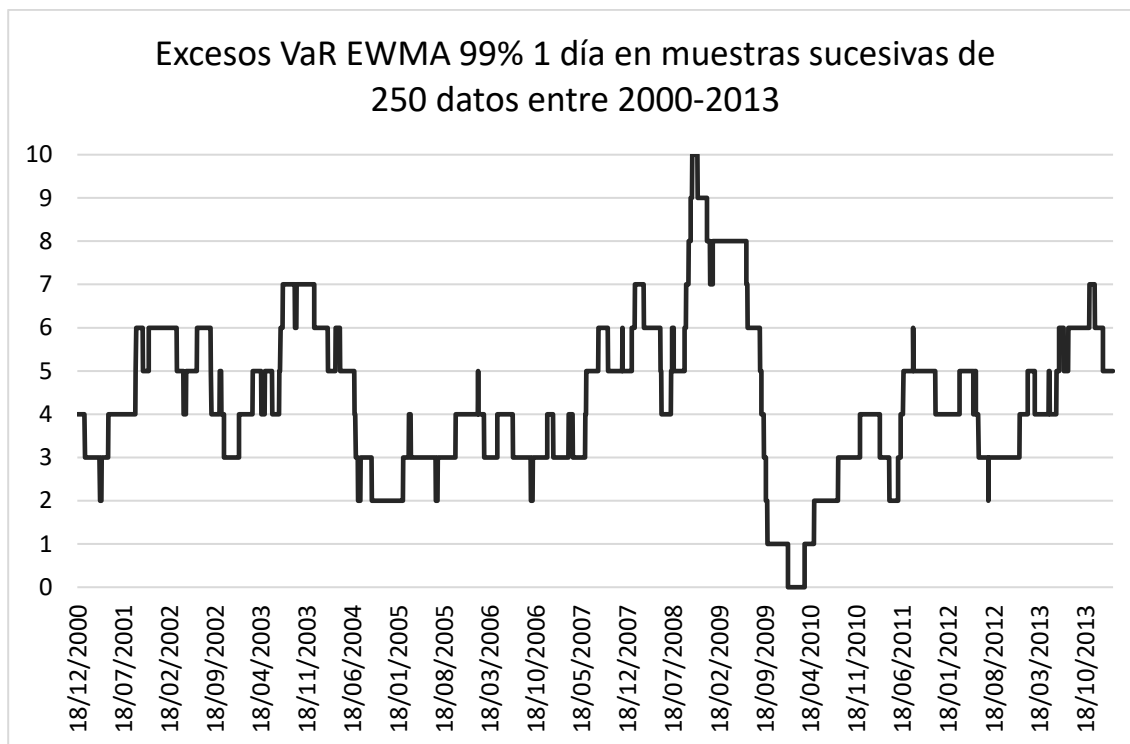
Fecha (t)	Tipo de interés en t	Fecha (t-10)	Tipo de interés en t-10	Variación tipo de interés 10d (pb)
17/10/2008	7,98%	03/10/2008	9,43%	145
20/10/2008	7,91%	06/10/2008	9,43%	152
21/10/2008	8,05%	07/10/2008	9,36%	131

## Anexo 17. Excesos en muestras de 250 observaciones

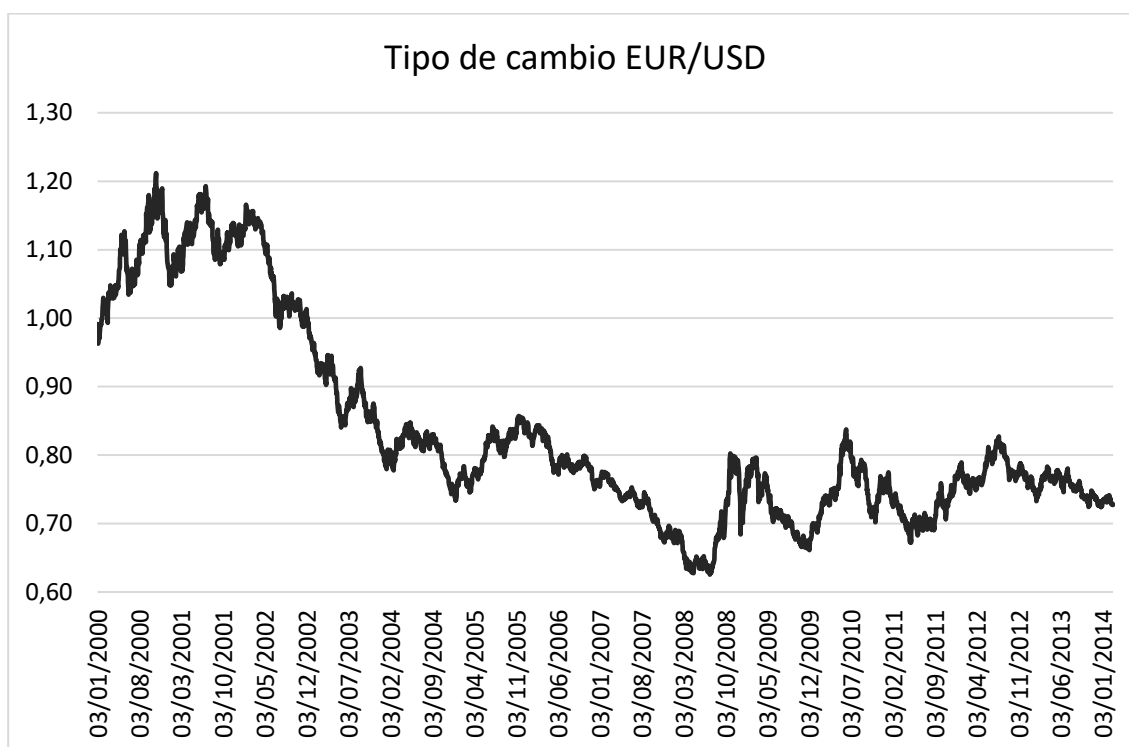
Se reproduce a continuación el Cuadro 2 del Anexo 10a que muestra el número de excesos en muestras de 250 observaciones, en base a los cuales Basilea II contempla aumentos del factor de multiplicación mínimo.

Zona	Número de excepciones	Incremento del factor escalar
Zona verde	0	0,00
	1	0,00
	2	0,00
	3	0,00
	4	0,00
Zona amarilla	5	0,40
	6	0,50
	7	0,65
	8	0,75
	9	0,85
Zona roja	10 o más	1,00

Como se puede apreciar en los dos gráficos siguientes, el modelo VaR EWMA al 99% y 1 día estaba en zona amarilla el día 17. Contando el exceso de ese día el número total de excesos de los 250 días anteriores aumenta a 10. Hasta ese momento, se registran 8 y 9 excesos en varias muestras sucesivas de 250 días anteriores. En el caso del VaR GARCH, el modelo se situaba ya en la zona roja el día 17/10/2008. En la segunda mitad del mes de septiembre los excesos de los 250 días anteriores aumentan por encima de 10.

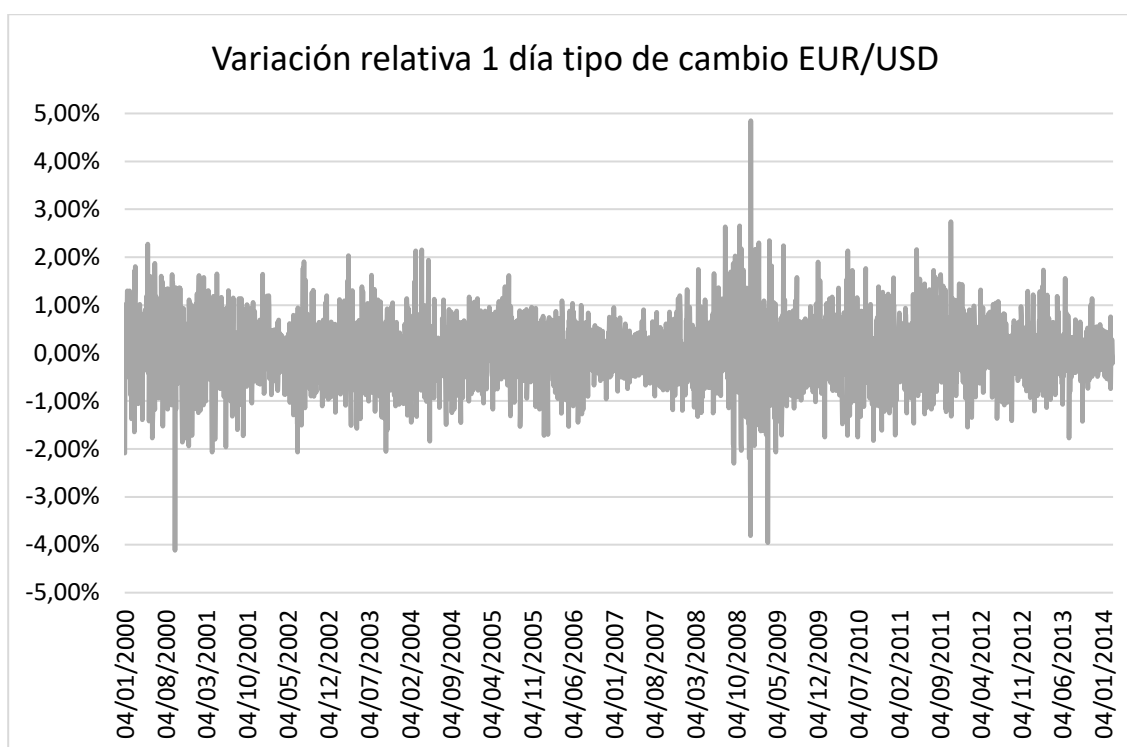


## Anexo 18. Evolución del tipo de cambio EUR/USD 2000 - 2014



Fuente: Banco de España

## Anexo 19. Gráfico y principales estadísticos de la variación relativa del tipo de cambio EUR/USD



Principales estadísticos	Variación relativa EUR_USD
Media	-6.31E-05
Mediana	-0.000240
Máximo	0.048494
Mínimo	-0.041170
Desv. est.	0.006450
Asimetría	0.076210
Curtosis	5.677082
Jarque-Bera	1105.762
Probabilidad	0.000000
Observaciones	3691

## Anexo 20. Coeficientes estimados con modelos GARCH (1,1) para calcular la volatilidad condicional de la variación relativa del tipo de cambio EUR/USD

La variable T\_C es la variación relativa del tipo de cambio.

### 20.1 Con término constante

Dependent Variable: T\_C

Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)

Included observations: 1824

Convergence achieved after 32 iterations

Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Presample variance: backcast (parameter = 0.7)

GARCH = C(2) + C(3)\*RESID(-1)^2 + C(4)\*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000220	0.000138	-1.589186	0.1120
Variance Equation				
C	2.12E-07	1.09E-07	1.934340	0.0531
RESID(-1)^2	0.027279	0.005307	5.140065	0.0000
GARCH(-1)	0.966658	0.006129	157.7095	0.0000
R-squared	-0.000220	Mean dependent var	-0.000126	
Adjusted R-squared	-0.000220	S.D. dependent var	0.006356	
S.E. of regression	0.006357	Akaike info criterion	-7.334484	
Sum squared resid	0.073671	Schwarz criterion	-7.322403	
Log likelihood	6693.049	Hannan-Quinn criter.	-7.330027	
Durbin-Watson stat	2.020051			

## 20.2 Sin término constante

Dependent Variable: R\_EUR\_USD

Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)

Sample: 1/04/2000 12/29/2006

Included observations: 1824

Convergence achieved after 36 iterations

Coefficient covariance computed using outer product of gradients

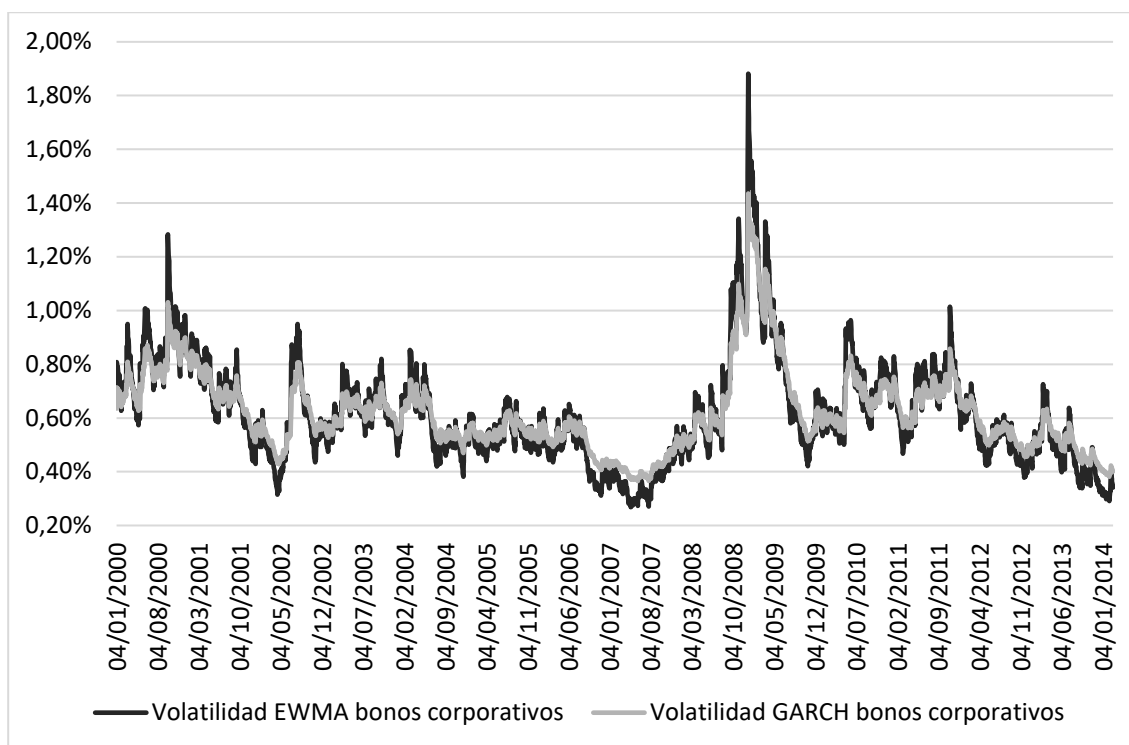
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)

GARCH = C(1) + C(2)\*RESID(-1)^2 + C(3)\*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
Variance Equation				
C	2.15E-07	1.09E-07	1.975942	0.0482
RESID(-1)^2	0.027011	0.005241	5.153631	0.0000
GARCH(-1)	0.966837	0.006042	160.0277	0.0000
R-squared	-0.000392	Mean dependent var	-0.000126	
Adjusted R-squared	0.000156	S.D. dependent var	0.006356	
S.E. of regression	0.006356	Akaike info criterion	-7.334195	
Sum squared resid	0.073684	Schwarz criterion	-7.325134	
Log likelihood	6691.786	Hannan-Quinn criter.	-7.330852	
Durbin-Watson stat	2.019704			



## Anexo 21. Gráficos de las volatilidades EWMA y GARCH de la variación relativa del tipo de cambio



La primera volatilidad condicional  $\sigma_{2|1}$  de la muestra, calculada el día 03/01/2000 para el día siguiente, el 04/01/2000, toma el valor de la desviación típica de los datos comprendidos en el periodo 2000-2006, en el caso de la volatilidad GARCH, y 2000-2014 en el caso de la volatilidad EWMA. Se calcula según la fórmula:

$$\hat{\sigma}_{2|1} = \sqrt{\frac{\sum_{t_i=1}^n (\text{Re}_{t_i} - \bar{\text{Re}})^2}{(n-1)}}$$

## Anexo 22. Frecuencia excesos y contraste Kupiec para el VaR del tipo de cambio EUR/USD 2000-2014

### 22.1 VaR EWMA EUR/USD

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	187	3691	63
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,07%	1%	1,71%
RV	0,034	RV	15,373

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	202	3682	50
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	5,49%	1%	1,36%
RV	1,778	RV	4,286

### 22.2 VaR GARCH EUR/USD

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	162	3691	51
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,39%	1%	1,38%
RV	3,0197	RV	4,8554

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	179	3682	32
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,86%	1%	0,87%
RV	0,1500	RV	0,6668

## Anexo 23. Coeficiente de correlación entre las primeras diferencias de los tipos de interés bonos Tesoro y la variación relativa del tipo de cambio

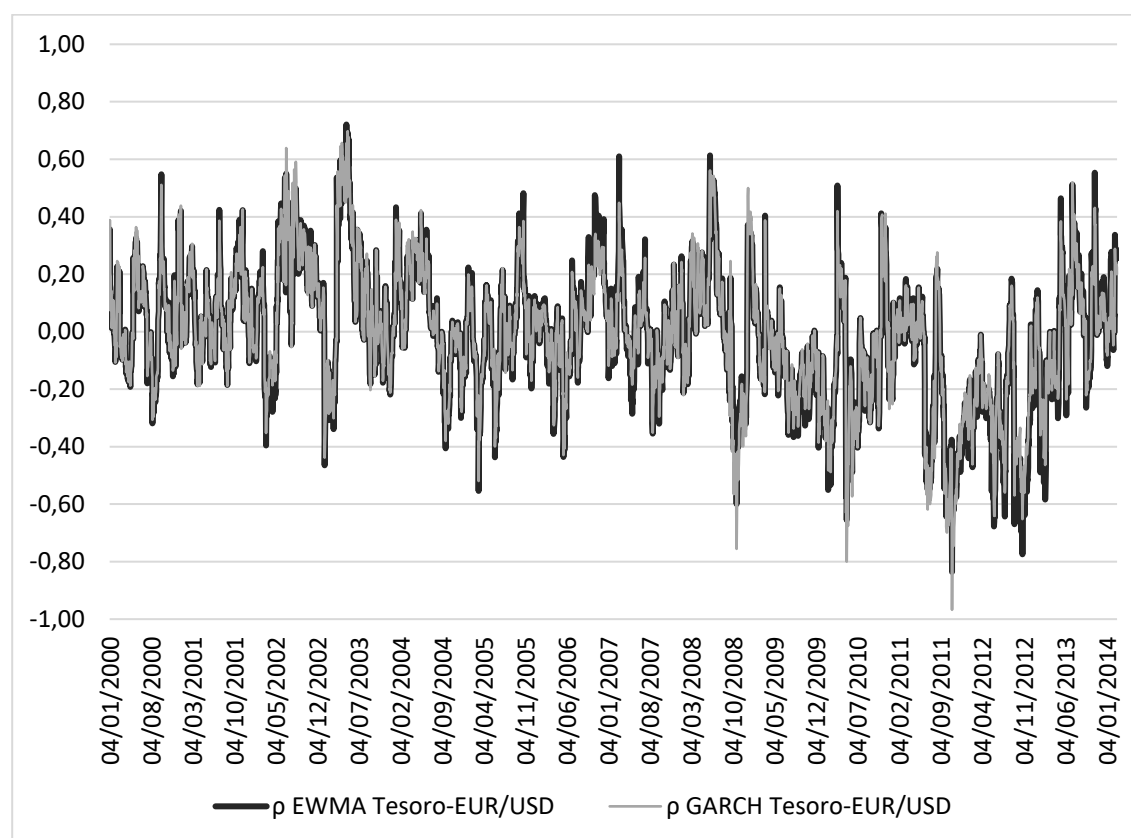
$\rho$  EWMA es el coeficiente de correlación calculado con un modelo EWMA con  $\lambda$  igual a 0,94 y empleando las volatilidades EWMA de las dos series.

$\rho$  GARCH es el coeficiente de correlación calculado igualmente con un modelo EWMA con  $\lambda$  igual a 0,94 y empleando las volatilidades GARCH.

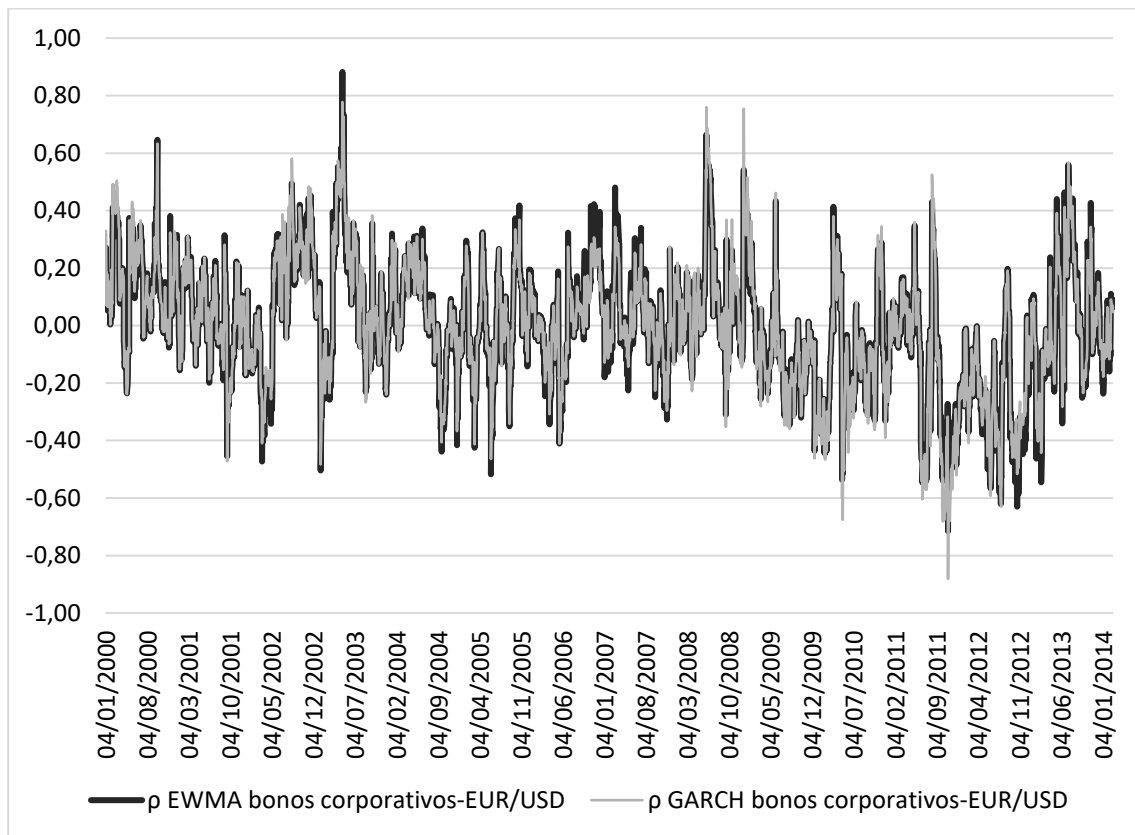
El valor del primer coeficiente de correlación  $\rho_1$  (tanto para los bonos del Tesoro como para los corporativos) es igual al coeficiente de correlación incondicional de la muestra 2000-2014 para el  $\rho$  EWMA y 2000-2006 para el  $\rho$  GARCH.

$$\rho_{\Delta r, Re} = \frac{\sum (\Delta r - \bar{r})(Re - \bar{Re})}{\sqrt{\sum (\Delta r - \bar{r})^2 \sum (Re - \bar{Re})^2}}$$

### 23.1 Tesoro – EUR/USD



### 23.2 Corporativos – EUR/USD



## Anexo 24. Frecuencias excesos y contraste Kupiec VaR Bonos Tesoro con precio en EUR 2000-2014

### 24.1 VaR EWMA

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	164	3691	50
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,44%	1%	1,35%
RV	2,498	RV	4,221

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	125	3682	21
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,39%	1%	0,57%
RV	22,402	RV	8,125

### 24.2 VaR GARCH

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	168	3691	50
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,55%	1%	1,35%
RV	1,609	RV	4,221

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	112	3682	19
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,04%	1%	0,52%
RV	34,352	RV	10,586

## Anexo 25. Frecuencias excesos y contraste Kupiec VaR Bonos corporativos con precio en EUR 2000-2014

### 25.1 VaR EWMA

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	181	3691	53
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,90%	1%	1,44%
RV	0,072	RV	6,243

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	162	3682	40
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,40%	1%	1,09%
RV	2,905	RV	0,270

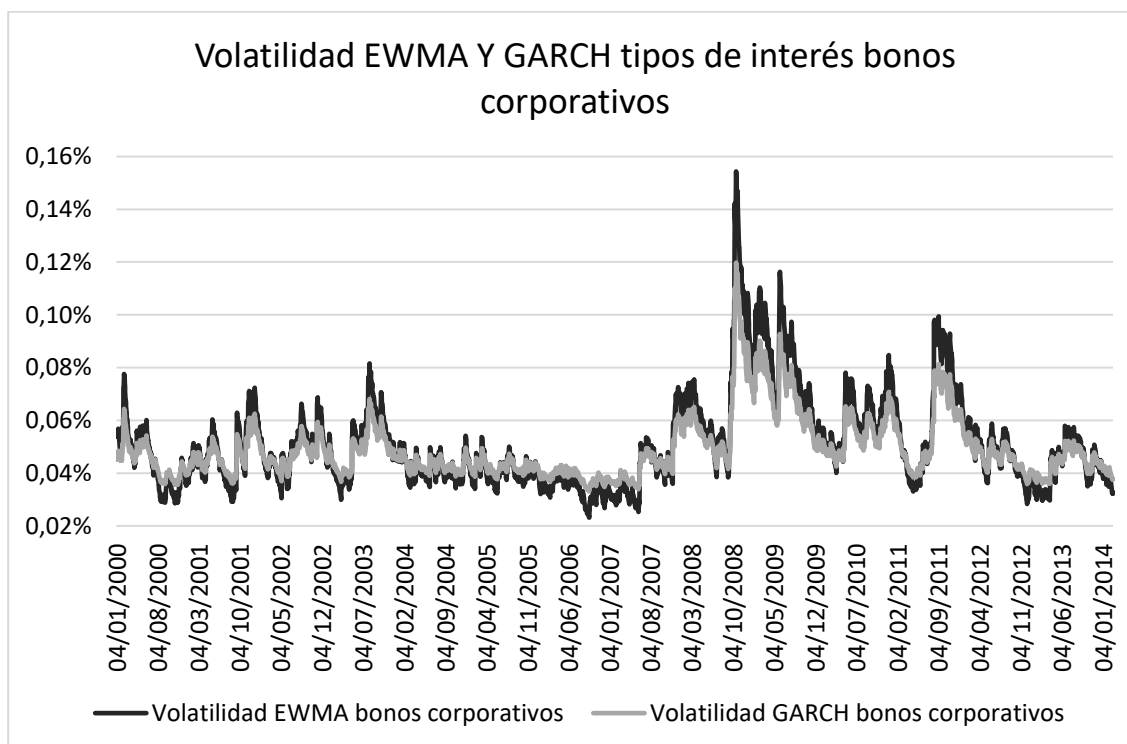
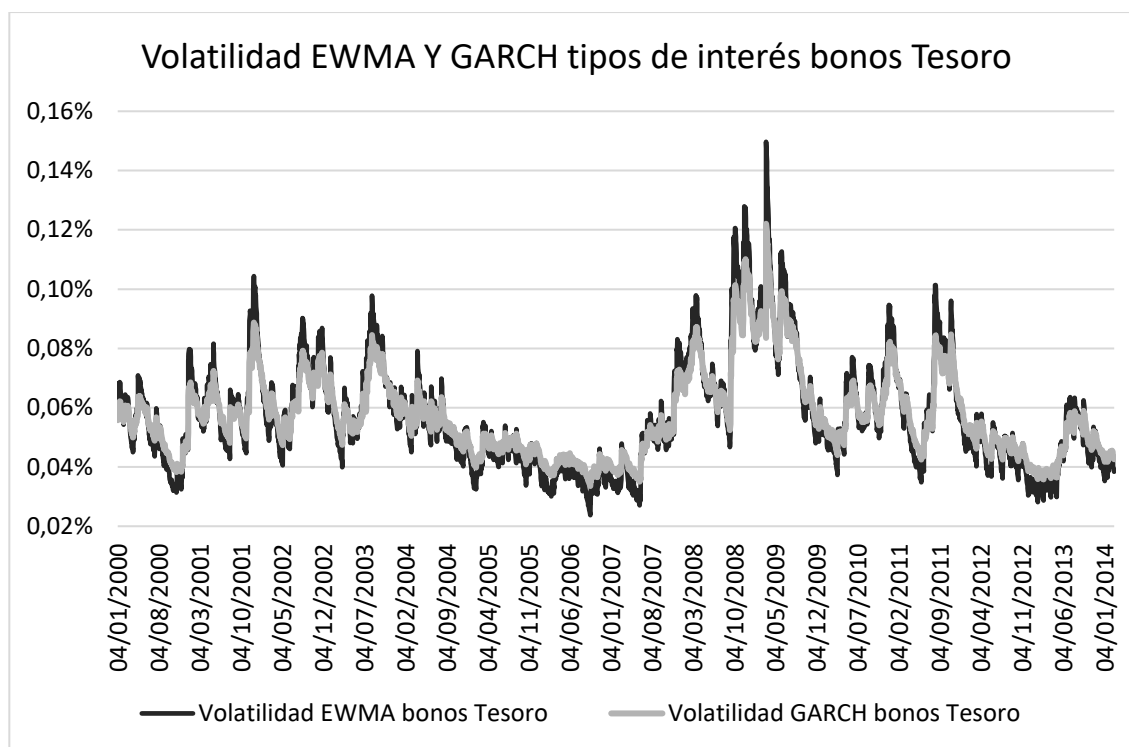
### 25.2 VaR GARCH

Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014	Observaciones 1 día	nº excesos 2000-2014
3691	180	3691	47
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	4,88%	1%	1,27%
RV	0,119	RV	2,564

Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014	Observaciones 10 días	nº excesos 2000-2014
3682	143	3682	24
p*	Frecuencia	p*	Frecuencia
5%	3,88%	1%	0,65%
RV	10,428	RV	5,142

## Anexo 26. Volatilidades EWMA y GARCH tipos de interés de los bonos del Tesoro y corporativos



## Anexo 27. Contrato del producto estructurado analizado

**Lehman Brothers**  
745 Seventh Ave.  
New York, NY 10019  
www.lehman.com

**US OFFSHORE SALES**

Client Signature: \_\_\_\_\_

Order Size (USD): \_\_\_\_\_

Gary Nathanson  
212-525-0905  
gary.nathanson@lehman.com

Ajay Achitkar  
212-525-0905  
achitkar@lehman.com

Final Terms and Conditions as of 23 May 2005	
<b>Issuer</b>	Lehman Brothers Securities N.V.
<b>Guarantor</b>	Lehman Brothers Holdings Inc.
<b>Arranger/ Dealer</b>	Lehman Brothers International (Europe)
<b>Issue Size</b>	Up to 50,000 Certificates
<b>Trade Date</b>	May 23, 2005
<b>Issue Date</b>	May 31, 2005
<b>Issue Price</b>	USD 1000.00 per Certificate
<b>Valuation Date</b>	May 23, 2008, or if any such date is not a Scheduled Trading Day, the next following Scheduled Trading Day
<b>Valuation Time</b>	Means: (i) for the purposes of determining whether a Market Disruption Event has occurred: (a) in respect of any Component Security, the Scheduled Closing Time on the Exchange in respect of such Component Security, and (b) in respect of any options contracts or future contracts on the Index, the close of trading on the Related Exchange; and (ii) in all other circumstances, the time at which the official closing level of the Index is calculated and published by the Index Sponsor
<b>Redemption Date</b>	May 31, 2008 or if any such date is not a Scheduled Trading Day, the next following Scheduled Trading Day
<b>Underlying</b>	Dow Jones EuroStoxx 50 Index (Bloomberg: SX5E) (the "Index")
<b>Initial Price (IP)</b>	3070.98, The level of the Index at Valuation Time on the Trade Date as determined by the Calculation Agent
<b>Upper Barrier Price (UBP)</b>	100% of the Initial Price
<b>Lower Barrier Price (LBP)</b>	75% of the Initial Price
<b>Final Price (FP)</b>	The level of the Index at the Valuation Time on the Valuation Date as determined by the Calculation Agent
<b>Upper Participation (UP)</b>	100%
<b>Lower Participation (LP)</b>	100%
<b>Settlement</b>	Cash Settlement
<b>Settlement Currency</b>	USD





**Lehman Brothers**  
745 Seventh Ave.  
New York, NY 10019  
www.lehman.com

#### US OFFSHORE SALES

Client Signature: \_\_\_\_\_

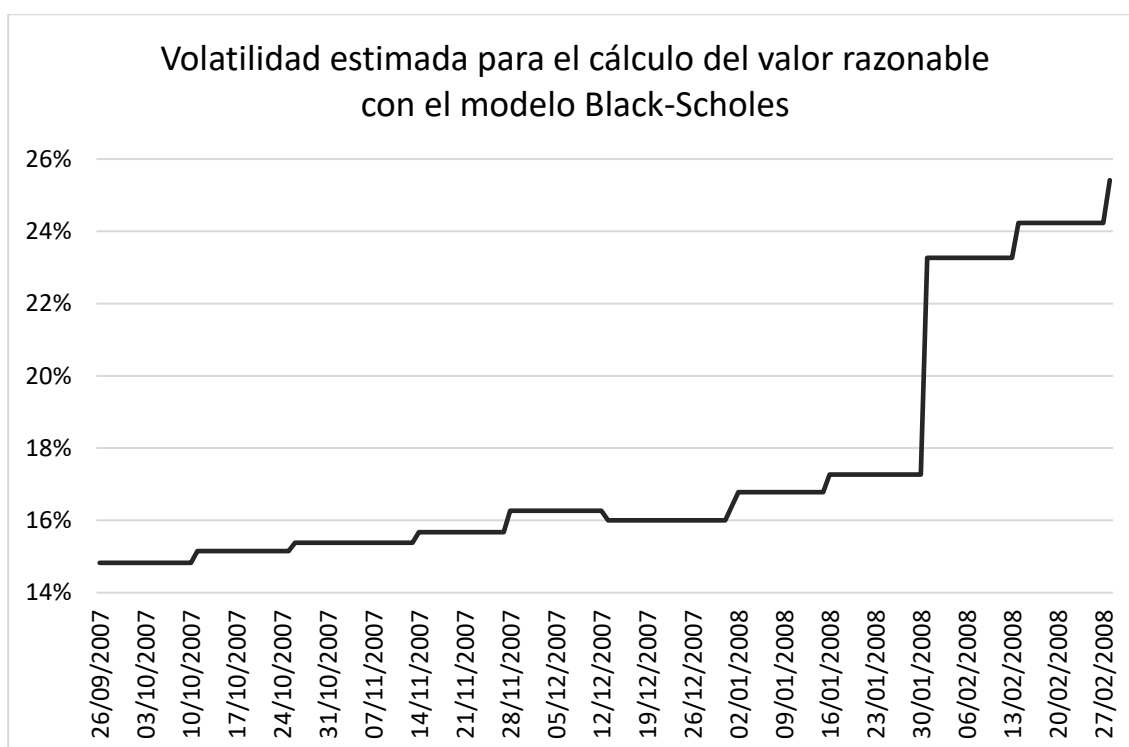
Order Size (USD): \_\_\_\_\_

Gary Nathanson  
212-526-0905  
nathanson@lehman.com

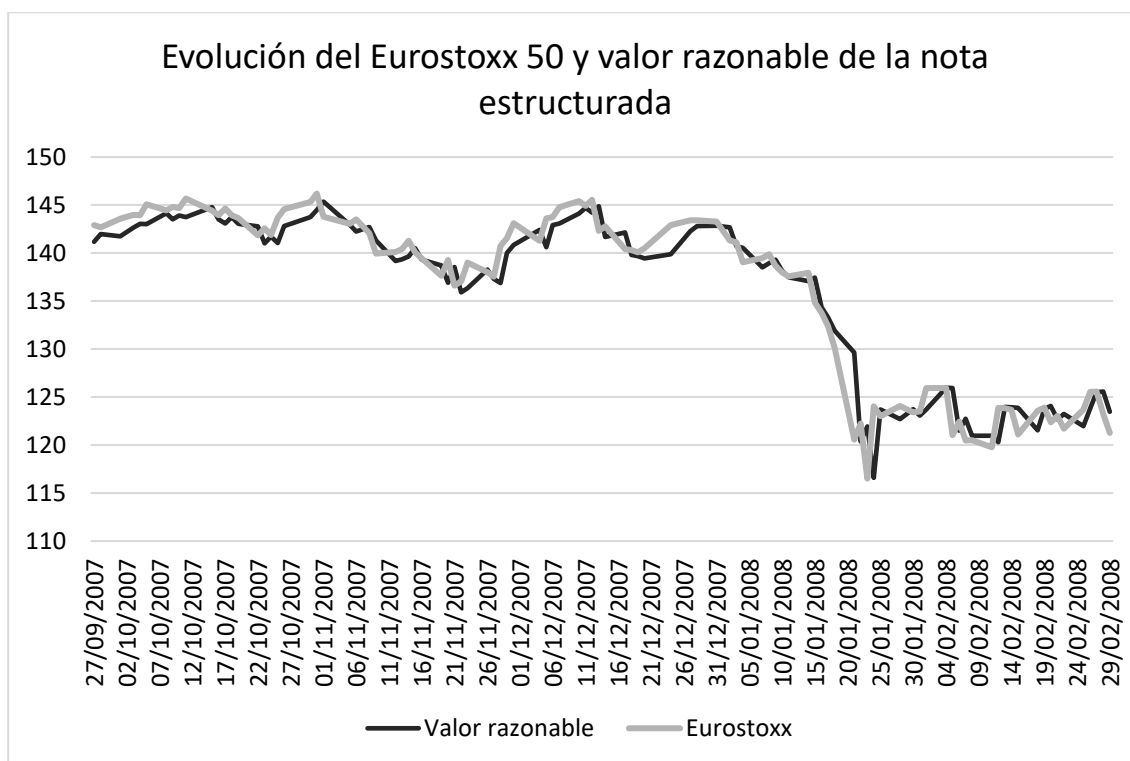
Ajay Chitkara  
212-526-0905  
achitkar@lehman.com

<b>Interest</b>	Not Applicable
<b>Cash Settlement Amount</b>	<p>The Issuer shall pay the holder of a Certificate on the Redemption Date an amount in USD, as determined by the Calculation Agent, on the Valuation Date in accordance with the following formula:</p> <p>(1) If the Final Price is above or at the Upper Barrier Price:</p> $1000 \times UP \times \frac{FP}{IP}$ <p>(2) If the Final Price is below the Upper Barrier Price and above the Lower Barrier Price:</p> $1000 \times \left[ 100\% + \frac{LP \times (UBP - FP)}{IP} \right]$ <p>(3) If the Final Price is at or below the Lower Barrier Price:</p> $1000 \times \frac{FP}{IP}$
<b>Minimum Initial Purchase</b>	10 Certificate(s)
<b>Exchange</b>	In relation to each security comprised in the Index (the " <b>Component Security</b> "), the principal stock exchange on which such Component Security is principally traded, as determined by the Calculation Agent
<b>Related Exchange</b>	Eurex
<b>Index Sponsor</b>	Stoxx Limited

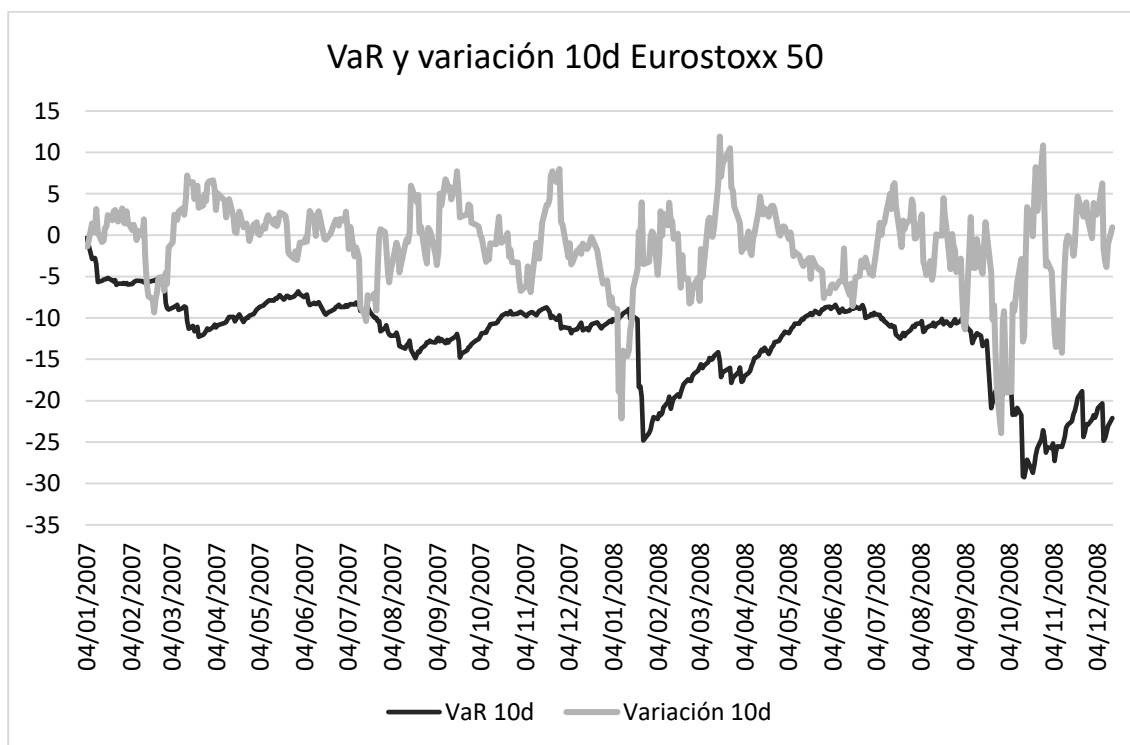
## Anexo 28. Volatilidad anualizada índice Eurostoxx 50 estimada para el cálculo del valor razonable de la nota estructurada



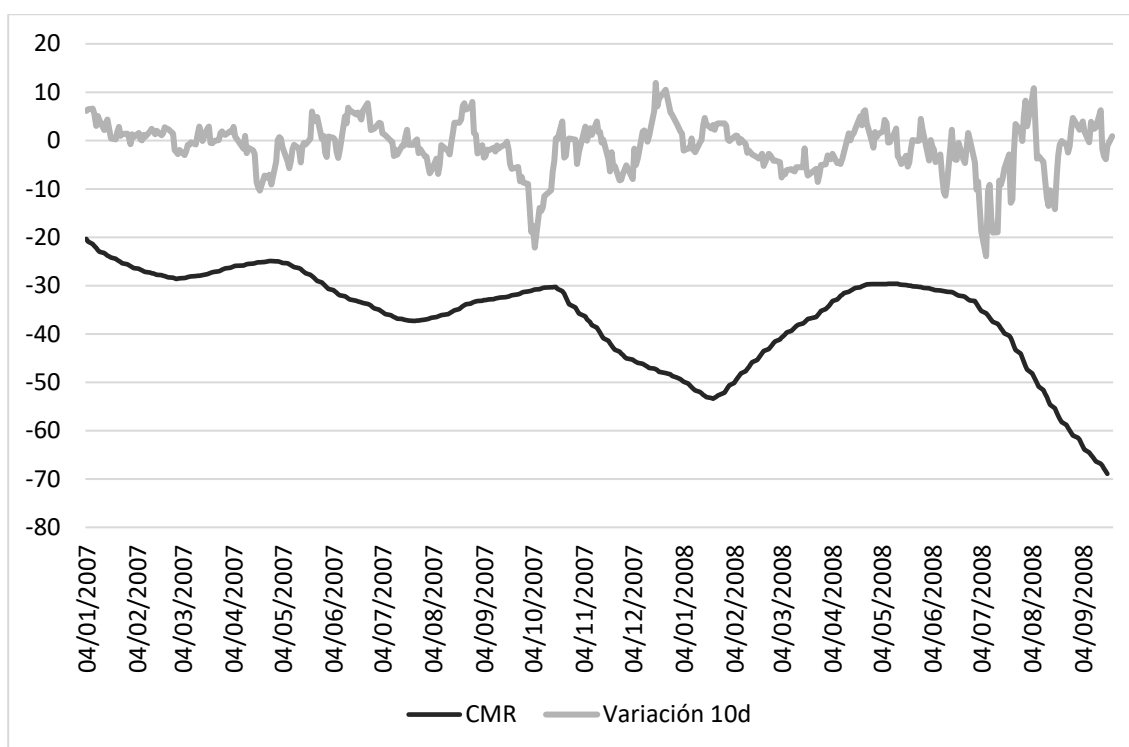
## Anexo 29. Valor razonable de la nota estructurada y valor del índice Eurostoxx 50



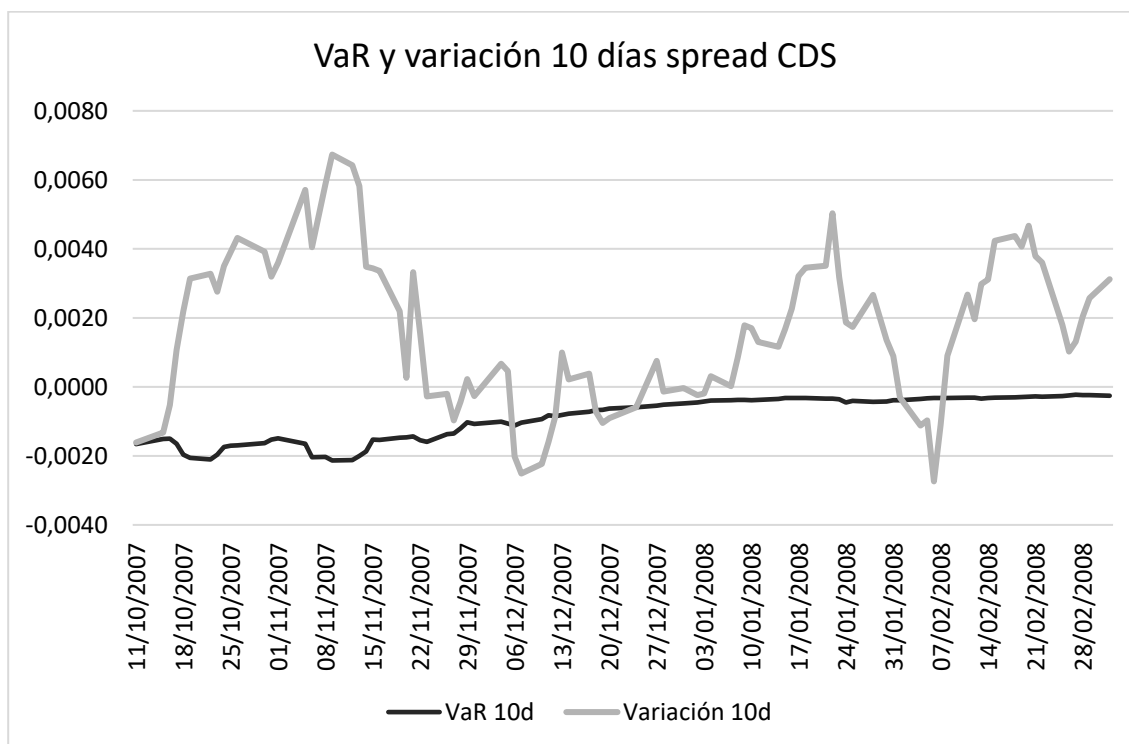
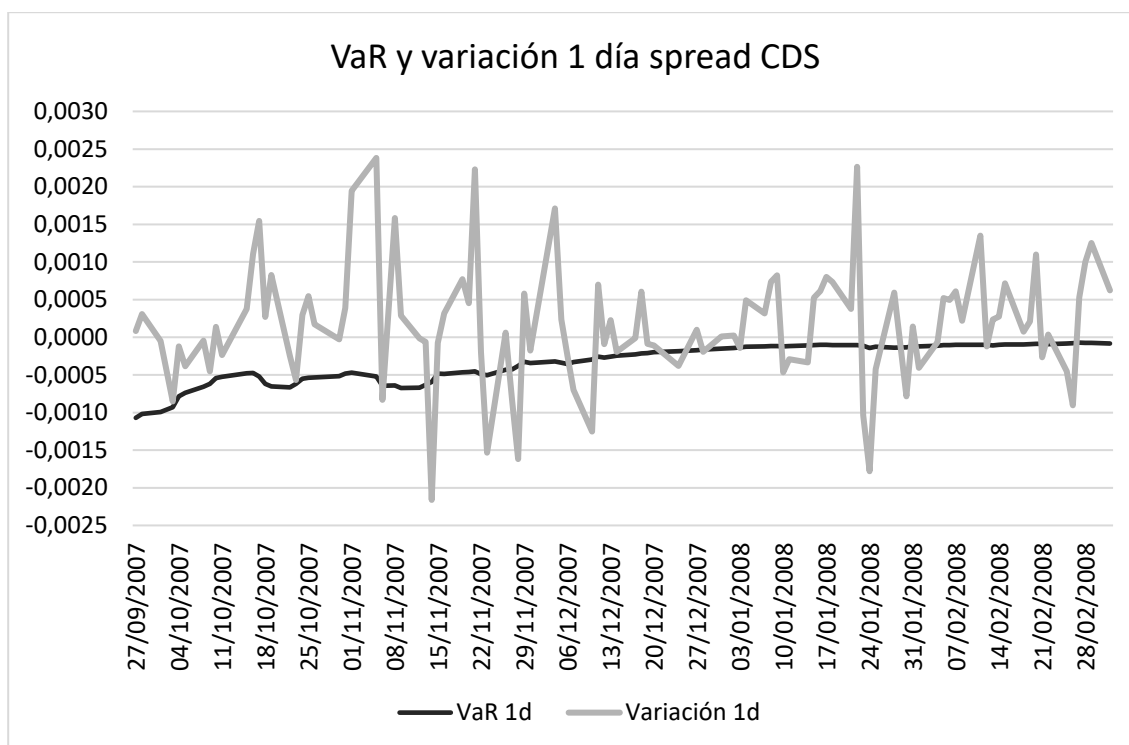
## Anexo 30. VaR y variación a 10 días del índice Eurostoxx 50



### Anexo 31. Capital mínimo regulatorio (CMR) y variación a 10 días del índice Eurostoxx 50



## Anexo 32. VaR del *spread* del CDS de Lehman Brothers



## **Anexo 33. Detalles sobre algunos de los instrumentos del Gráfico 1 sobre las pérdidas en las carteras de negociación**

### **1. Negociación de hipotecas y negociación de ABS**

Las primeras categorías de instrumentos del Gráfico 1 hacen referencia a bonos procedentes de titulizaciones de préstamos hipotecario o de otros tipos de activos, que pueden ser préstamos a otros sectores no-hipotecarios, bonos u otros flujos de efectivo.

Acerca de la titulización, Trujillo (2011) ofrece la siguiente definición: “La titulización es un mecanismo jurídico-financiero que transforma en títulos de deuda negociables, flujos futuros de efectivo resultantes de activos contabilizados en balance (ej. préstamos) o de derechos no contabilizados (ej. alquileres). Representa un instrumento de refinanciación en el mercado de deuda, con transferencia parcial o total del riesgo de los activos [...] En su origen, la titulización fue una técnica utilizada por entidades de crédito, pero puede ser utilizada también por empresas no financieras, o entidades públicas que dispongan de derechos de cobro”<sup>87</sup>.

### **2. Derivados de crédito**

Los derivados de crédito más negociados son los *credit default swaps* (CDS). El objetivo principal de estos derivados es la cobertura del riesgo de crédito de un emisor. El comprador de CDS paga una comisión sobre el nominal del contrato al vendedor por el derecho a recibir un pago condicional a la realización del evento de *default* definido en el contrato. Existe una variedad de eventos, denominados “eventos de crédito”, que se pueden especificar en el contrato y ante los cuales el comprador recibe el desembolso, y pueden ser: el incumplimiento del emisor (definido como un retraso de un cierto número de días en los pagos que debe realizar el emisor) u otros eventos como la suspensión de pagos, una quiebra, reestructuración de la deuda, caída del *rating*, cambios en las primas de riesgo, etc. El contrato se puede liquidar mediante entrega física de bonos o créditos o mediante

---

<sup>87</sup> Para más detalles véase el trabajo citado, en el que el autor expone las diferentes formas de titulización existentes en Europa y Estados Unidos y pone de manifiesto cómo esta técnica financiera fue uno de los instrumentos del crecimiento del crédito y no la causa, como a veces se ha entendido la titulización, debido a su vinculación con el crecimiento del mercado hipotecario *subprime* estadounidense.

liquidación en efectivo a partir de la valoración de los bonos que han sufrido el evento de crédito<sup>88</sup>.

### 3. Préstamos sindicados

Préstamos de grandes importes concedidos a una entidad por varios bancos, que permite repartir el riesgo entre los distintos prestamistas. Los préstamos pueden ser de un importe determinado, una línea de crédito o una combinación de ambos.

### 4. Almacén de titulización

Préstamos adquiridos por los bancos con el propósito de ser titulizados. También puede contener bonos procedentes de titulización.

### 5. Crédito estructurado

La financiación estructurada o crédito estructurado comprende un amplio grupo de instrumentos financieros, que se puede entender como el producto de una reestructuración de flujos de efectivo basada en la técnica de la titulización. Consiste en agrupar activos para su venta a inversores, que otorgan a los mismos los derechos sobre los flujos de efectivo respaldados por el fondo de activos. Generalmente se emiten varias clases o tramos, cada uno con una calificación distinta y por tanto que ofrecen distinta rentabilidad<sup>89</sup>.

### 6. Tramos retenidos super-senior CDOs

Los tramos super-senior son los tramos de un CDO que reciben las calificaciones más altas, AAA o Aaa, según la agencia calificadora.

### 7. Otros derivados de crédito

Pueden ser instrumentos como los denominados *First to default (FtD)*, *Second to default (StD)* o *Credit linked notes (CLN)*

El FtD se diseña para varias entidades de referencia y varias referencias de crédito (bonos principalmente) correspondientes a las entidades de referencia. El evento de crédito es el primer evento de crédito de cualquiera de las entidades de referencia. El contrato termina

---

<sup>88</sup> Véase más detalles sobre los CDS y otros derivados de crédito y modelos de valoración en Vilariño (2008)

<sup>89</sup> Para más detalles se puede consultar Criado y Rixtel (2008).

después del primer evento de crédito o cuando se llega al vencimiento y no se ha producido ningún evento de crédito. El comprador paga una prima que se interrumpe si ocurre un evento de crédito, en cuyo caso, recibe del vendedor el nominal del contrato. El comprador debe entregar a su vez al vendedor bonos de la entidad que protagoniza el evento de crédito, con el nominal que establece el contrato.

El StD tiene las mismas características, con la diferencia de que, si se produce un primer incumplimiento, el contrato sigue vigente hasta que se produzca el segundo incumplimiento, o hasta el vencimiento si el segundo incumplimiento no ocurre.



### **Anexo 34. Riesgos de un *credit default swap***

A continuación, se presentan de manera esquemática los riesgos que deben gestionar tanto compradores como vendedores de un derivado de crédito del tipo *credit default swap*. Suponemos la existencia de un CDS sobre un determinado subyacente (títulos de deuda) emitidos por un emisor.

En el esquema de abajo se utiliza el término “Eventos de riesgo” para referirse a los fenómenos inmediatos que pueden llevar a registrar pérdidas para el comprador o el vendedor. La columna “Fuente” hace referencia a situaciones contractuales, restricciones regulatorias o características de los mercados en los que se negocia el instrumento, que pueden dar lugar, ante la ocurrencia de los eventos de riesgo, a que se generen pérdidas para el vendedor o el comprador.

El objetivo no es explicar las causas que pueden llevar a la materialización de cada tipo de riesgo (las causas detrás de los incumplimientos del emisor, por ejemplo), sino mostrar los múltiples eventos que pueden dar lugar a pérdidas debido a los derechos y obligaciones que surgen de la venta y adquisición de un derivado de crédito. A su vez, hay que tener en cuenta que existen múltiples relaciones entre los diferentes tipos de riesgos identificados, que no se deben interpretar como compartimentos estancos.

La categoría “Riesgo de valor razonable” considera la valoración del CDS con un modelo de valoración generalmente aceptado<sup>90</sup>.

---

<sup>90</sup> Para más detalles, véase Vilariño (2011a, 90)

Tipología y fuente de riesgos CDS		
Tipo de riesgo	Fuente	Eventos de riesgo
Riesgo de valor razonable	Necesidad de contabilizar el CDS a valor razonable. Tanto el comprador como el vendedor pueden sufrir pérdidas de valoración por la variación de los factores de riesgo del modelo de valoración	variación del spread de mercado del emisor
		variación de los tipos de interés libres de riesgo
		modificación de las probabilidades de supervivencia del emisor (parámetros no observables, para los que se utilizan estimaciones internas)
Riesgo de crédito	El vendedor tiene la obligación de pagar al comprador el importe estipulado en el contrato, ante la realización de los eventos de crédito pertinentes	Realización de los eventos de crédito del contrato, p.ej. insolvencia del emisor, retraso en los pagos de intereses, etc.
Riesgo de contraparte	El comprador del CDS tiene el derecho de recibir del vendedor el importe que estipula el contrato en caso de ocurrencia de uno de los eventos de crédito	Ante la ocurrencia de un evento de crédito, el vendedor del CDS no puede realizar los pagos a los que el comprador tiene derecho
Riesgo de liquidez	El vendedor del CDS desea cerrar la posición y reducir su exposición al riesgo de crédito del emisor. Al no poder vender el CDS, el vendedor tiene que contratar un CDS en posición compradora para cerrar la operación.	Aumento de las primas, con respecto a las primas que recibe actualmente el vendedor del CDS
		Ausencia de contrapartes dispuestas a vender CDS sobre el emisor
		Cambios en los factores no contemplados por el modelo, que inciden en el deterioro de la solvencia del emisor (por ejemplo cambios en la política monetaria, una crisis sectorial, etc.)
Riesgo de modelo	Limitaciones propias de las técnicas de estimación utilizadas en el cálculo del valor razonable: los modelos no contemplan factores de riesgo relevantes, existen parámetros no observables que son fundamentales en el modelo de valoración	Se producen incumplimientos en otros sectores, cuyo impacto sobre el emisor no se ha tomado en cuenta adecuadamente
		Deterioro de la solvencia del emisor que no está captada por los sistemas internos de calificación o por la calificación de las agencias
		Frecuencia inadecuada en el cálculo del valor razonable, uso de datos sin actualizar o registro inadecuado en la contabilidad que pueden llevar a sanciones o a aflorar pérdidas cuando se regularizan
Riesgos operacionales	Pérdidas en los que pueden incurrir tanto vendedores como compradores de CDS debido a errores de sistemas o errores humanos	Estimación errónea de parámetros contrastables ex post (p. ej. la tasa de recuperación)



## Bibliografía

- Acerbi, Carlo, y Dirk Tasche. 2002. «Expected Shortfall: a natural coherent alternative to Value at Risk». *Journal of Banking and Finance* 26 (7): 1505-18. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4266\(02\)00283-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4266(02)00283-2).
- Adalsteinsson, Gudni. 2014. *The Liquidity Risk Management Guide: From Policy to Pitfalls*. 1 edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley.
- AIECA. 2005. «Carta enviada por la AIECA (Asociación de Inspectores de Entidades de Crédito del Banca de España)4 a don Pedro Solbes (Ministro de Economía y Hacienda) el 22 de abril de 2005». <http://www.elconfidencialdigital.com/resources/files/2012/5/17/1337287864536carta%20a%20Solbes.pdf>.
- Alexander, Carol. 1996. «Evaluating the Use of RiskMetrics as a Risk Measurement Tool for Your Operation: Advantages and Limitations». *Derivatives: Use, Trading and Regulation* 2 (3): 277-85.
- . 2008. *Value-at-Risk Models*. Vol. 4. Market Risk Analysis. John Wiley & Sons.
- Alonso, Nuria, y David Trillo. 2013. «La respuesta de la regulación prudencial a la 29 crisis: Basilea III». WP 04/13. ICEI Working Papers. Instituto Complutense de Estudios Internacionales. [http://www.ucm.es/data/cont/docs/430-2014-05-03-WP04\\_13.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/docs/430-2014-05-03-WP04_13.pdf).
- Angelidis, Timotheos, Alexander Benos, y Stavros Antonios Degiannakis. 2004. «The Use of GARCH Models in VaR Estimation». *Statistical Methodology* 1 (2): 105-28.
- Arrow, Kenneth J., y Frank H. Hahn. 1971. *Análisis general competitivo*. Fondo de Cultura Económica.
- Augros, Jean-Claude, y Michel Queruel. 2000. *Risque de taux d'intérêt et gestion bancaire*. Paris: Economica.
- Ball, Jason, y Victor Fang. 2006. «A Survey of Value-at-Risk and Its Role in the Banking Industry». *Journal of Financial Education* 32 (enero): 1-31.
- Bank of England. 2016. «Quarterly Bulletin 2015 Q3». <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Pages/quarterlybulletin/2015/q3.aspx>.
- Barone-Adesi, Giovanni, Kostas Giannopoulos, y Les Vosper. 2002. «Backtesting Derivative Portfolios with Filtered Historical Simulation (FHS)». *European Financial Management* 8 (1): 31-58. doi:10.1111/1468-036X.00175.
- Bates, Ian, Lynn Drennan, y Derek Atkins. 2001. *Reputational Risk: Responsibility Without Control?: A Question of Trust*. London: Financial World Publishing.
- Bera, Anil K., y Matthew L. Higgins. 1993. «Arch Models: Properties, Estimation and Testing». *Journal of Economic Surveys* 7 (4): 305-66. doi:10.1111/j.1467-6419.1993.tb00170.x.
- Beunza, Daniel, y David Stark. 2003. «The Organization of Responsiveness: Innovation and Recovery in the Trading Rooms of Lower Manhattan». *Socio-Economic Review* 1 (2): 135-64. doi:10.1093/soceco/1.2.135.
- Bhattacharyya, Malay. 2012. «A Comparison of VaR Estimation Procedures for Leptokurtic Equity Index Returns». *Journal of Mathematical Finance* 2 (1): 13-30. doi:10.4236/jmf.2012.21002.
- Blinder, Alan S. 2013. *After the Music Stopped: The Financial Crisis, the Response, and the Work Ahead*. Reprint edition. New York: Penguin Books.

- Bluhm, Christian, Ludger Overbeck, y Christoph Wagner. 2010. *Introduction to Credit Risk Modeling, Second Edition*. 2 edition. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC.
- Blunden, Tony, y John Thirlwell. 2013. *Mastering Operational Risk: A Practical Guide to Understanding Operational Risk and How to Manage It*. 2 edition. Harlow, England: FT Publishing International.
- Brigo, Damiano, Massimo Morini, y Andrea Pallavicini. 2013. *Counterparty Credit Risk, Collateral and Funding: With Pricing Cases For All Asset Classes*. 1 edition. Chichester, West Sussex: Wiley.
- Cavestany, Rafael, Brenda Boultonwood, y Laureano F. Escudero. 2015. *Operational Risk Capital Models*. Risk Books.
- CBSB. 1988. *International convergence of capital measurement and capital standards (updated to April 1998)*. <http://www.bis.org/publ/bcbsc111.htm>.
- . 1993. «Supervisory Treatment of Market Risks». <http://www.bis.org/publ/bcbs11a.htm>.
- . 1994. «Risk management guidelines for derivatives». <http://www.bis.org/publ/bcbsc211.htm>.
- . 1995a. «Proposal to issue a supplement to the Basel Capital Accord to cover market risks». <http://www.bis.org/publ/bcbs15.htm>.
- . 1995b. «Planned supplement to the Capital Accord to incorporate market risks». <http://www.bis.org/publ/bcbs16.htm>.
- . 1995c. «An internal model-based approach to market risk capital requirements». <http://www.bis.org/publ/bcbs17.htm>.
- . 1996. *Amendment to the capital accord to incorporate market risks*. <http://www.bis.org/publ/bcbs24.htm>.
- . 1998. «Performance of Models-Based Capital Charges for Market Risk: 1 July-31 December 1998». <http://www.bis.org/publ/bcbs57.htm>.
- . 1999. «Enhancing corporate governance for banking organisations». <http://www.bis.org/publ/bcbs56.htm>.
- . 2003. «Trends in risk integration and aggregation». <http://www.bis.org/publ/joint07.htm>.
- . 2005a. «The Application of Basel II to Trading Activities and the Treatment of Double Default Effects». <http://www.bis.org/publ/bcbs111.htm>.
- . 2005b. «Trading Book Survey: A Summary of Responses». <http://www.bis.org/publ/bcbs112.htm>.
- . 2006a. «Enhancing corporate governance for banking organisations». <http://www.bis.org/publ/bcbs122.htm>.
- . 2006b. «Regulatory and market differences: issues and observations». <http://www.bis.org/publ/joint15.htm>.
- . 2006c. *Convergencia internacional de medidas y normas de capital - Marco revisado. Versión integral*. <http://www.bis.org/publ/bcbs128.htm>.
- . 2009. *Revisions to the Basel II market risk framework - final version*. <http://www.bis.org/publ/bcbs158.htm>.
- . 2010a. «Principles for enhancing corporate governance - final document». <http://www.bis.org/publ/bcbs176.htm>.

- . 2010b. «Report to the G20 on response to the financial crisis released by the Basel Committee». <http://www.bis.org/press/p101019.htm>.
- . 2011a. «Messages from the academic literature on risk measurement for the trading book». [http://www.bis.org/publ/bcbs\\_wp19.htm](http://www.bis.org/publ/bcbs_wp19.htm).
- . 2011b. *Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems - revised version June 2011*. <http://www.bis.org/publ/bcbs189.htm>.
- . 2012. «Fundamental review of the trading book - consultative document». <http://www.bis.org/publ/bcbs219.htm>.
- . 2013. «Global systemically important banks: updated assessment methodology and the higher loss absorbency requirement». <http://www.bis.org/publ/bcbs255.htm>.
- . 2014a. *The standardised approach for measuring counterparty credit risk exposures*. <http://www.bis.org/publ/bcbs279.htm>.
- . 2014b. «Foundations of the standardised approach for measuring counterparty credit risk exposures». agosto 28. [http://www.bis.org/publ/bcbs\\_wp26.htm](http://www.bis.org/publ/bcbs_wp26.htm).
- . 2015a. «Margin requirements for non-centrally cleared derivatives». <http://www.bis.org/bcbs/publ/d317.htm>.
- . 2015b. «Corporate governance principles for banks». <http://www.bis.org/bcbs/publ/d328.htm>.
- . 2016a. «Implementation of Basel standards - A report to G20 Leaders on implementation of the Basel III regulatory reforms». <http://www.bis.org/bcbs/publ/d377.htm>.
- . 2016b. *Minimum capital requirements for market risk*. <http://www.bis.org/bcbs/publ/d352.htm>.
- Choudhry, Moorad. 2011. *An Introduction to Banking: Liquidity Risk and Asset-Liability Management*. Wiley.
- Coleman, T. F., S. Alexander, y Y. Li. 2006. «Minimizing CVaR and VaR for a portfolio of derivatives». *Journal of Banking & Finance, Risk Management and Optimization in Finance*, 30 (2): 583-605. doi:10.1016/j.jbankfin.2005.04.012.
- Cootner, Paul. 2000. *The Random Character of Stock Market Prices*. London: Risk Books.
- Criado, Sarai, y Adrian van Rixtel. 2008. «La financiación estructurada y las turbulencias financieras de 2007-2008: introducción general». Banco de España. <http://www.bde.es/f/webbde/SES/Secciones/Publicaciones/PublicacionesSerias/D ocumentosOcasiales/08/Fic/do0808.pdf>.
- Culp, Christopher L., H. Miller, y Andreea M.P. Neves. 1998. «Value at Risk: Uses and Abuses». *Journal of Applied Corporate Finance* 10 (4): 26-38. doi:10.1111/j.1745-6622.1998.tb00307.x.
- Danielsson, Jon, y Casper G. de Vries. 2000. «Value-at-Risk and Extreme REturns». <https://annals.ensae.fr/wp-content/uploads/pdf/n60/vol60-11.pdf>.
- De Barrón, Iñigo. 2016. «Los inspectores del Banco de España piden la dimisión del subgobernador». *EL PAÍS*, febrero 10. [http://economia.elpais.com/economia/2016/02/08/actualidad/1454969830\\_302233.html](http://economia.elpais.com/economia/2016/02/08/actualidad/1454969830_302233.html).
- Dowd, Kevin. 2005. *Measuring Market Risk*. 2.ªed. John Wiley & Sons.
- Duffie, Darrell, y Jun Pan. 1997. «An Overview of Value at Risk». *The Journal of Derivatives* 4 (3): 7-49. doi:10.3905/jod.1997.407971.

- Eatwell, Joh, y Lance Taylor. 2005. *Finanzas globales en riesgo. Un análisis a favor de la regulación internacional*. Siglo Veintiuno Editores.
- Eberlein, Ernst, Rüdiger Frey, Michael Kalkbrenner, y Ludger Overbeck. 2007. «Mathematics in Financial Risk Management». <http://www.archiv.stochastik.uni-freiburg.de/homepages/eberlein/papers/risk-management-survey-final2.pdf>.
- Emberchts, Paul, Claudia Klüppelberg, y Thomas Mikosch. 1997. «Statistical Methods for Extremal Events». En *Modelling Extremal Events*, 283-370. Applications of Mathematics 33. Springer Berlin Heidelberg.  
[http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33483-2\\_7](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33483-2_7).
- Engle, Robert. 1982. «Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation». *Econometrica* 50 (4): 987-1007.
- . 2001. «GARCH 101: The Use of ARCH/GARCH Models in Applied Econometrics». *Journal of Economic Perspectives* 15 (4): 157-68. doi:10.1257/jep.15.4.157.
- Fernández, Pablo, y Javier Aguirreamalloa. 2012. «La insolvencia de Lehman Brothers en septiembre de 2008: Sobre su previsibilidad y sobre algunos “profetas a posteriori”». <http://www.iese.edu/research/pdfs/DI-0950.pdf>.
- Financial Supervisory Authority. 2011. «The Failure of the Royal Bank of Scotland». <http://www.fsa.gov.uk/pubs/other/rbs.pdf>.
- Finger, Christopher C. 2006. «How historical simulation made me lazy». RiskMetrics Group. [http://gloria-mundi.com/UploadFile/2010-2/ccf\\_hhs.pdf](http://gloria-mundi.com/UploadFile/2010-2/ccf_hhs.pdf).
- FMI. 2005. «Implementation of Basel II -- Implications for the World Bank and the IMF». <http://www.imf.org/external/np/pp/eng/2005/072205.htm>.
- . 2015. «Technical Assistance Annual Report 2015». <https://www.imf.org/external/np/mcm/2015/taar2015.pdf>.
- Fouque, Professor Jean-Pierre, y Dr Joseph A. Langsam, eds. 2013. *Handbook on Systemic Risk*. 1 edition. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Freixas, Xavier, Luc Laeven, y Jose-Luis Peydro. 2015. *Systemic Risk, Crises, and Macroprudential Regulation*. Edición: 1. Cambridge, Massachusetts ; London, England: Mit Press Ltd.
- FSB. 2015. «2015 Update of List of Global Systemically Important Banks (G-SIBs)». <http://www.fsb.org/wp-content/uploads/2015-update-of-list-of-global-systemically-important-banks-G-SIBs.pdf>.
- Gilbert, R. Alton. 1986. «Requiem for Regulation Q: What It Did and Why It Passed Away». *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, febrero, 22-37.
- Girling, Philippa X. 2013. *Operational Risk Management: A Complete Guide to a Successful Operational Risk Framework*. Edición: 1. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- González, Mariano, y Juan M. Nave. 2010. «Efficiency in market risk measures techniques face to crisis situations». *Spanish Journal of Finance and Accounting / Revista Española de Financiación y Contabilidad* 39 (145): 41-64. doi:10.1080/02102412.2010.10779678.
- Gordy, Michael B. 2003. «A risk-factor model foundation for ratings-based bank capital rules». *Journal of Financial Intermediation* 12 (3): 199-232.
- Gregory, Jon. 2012. *Counterparty Credit Risk and Credit Value Adjustment: A Continuing Challenge for Global Financial Markets*. Edición: 2nd Revised edition. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons Inc.

- Hannoun, Hervé. 2010. «Hacia un marco de estabilidad financiera global». [http://www.bis.org/speeches/sp100303\\_es.htm](http://www.bis.org/speeches/sp100303_es.htm).
- Hendricks, Darryll. 1996. «Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data». *Economic Policy Review 1996 - Federal Reserve Bank of New York* 2 (1): 39-70.
- Holton, Glyn A. 2014. *Value-at-Risk: Theory and Practice*. 2.<sup>a</sup>ed. <http://value-at-risk.net/>.
- Hou, David, y David Skeie. 2014. «LIBOR: Origins, Economics, Crisis, Scandal, and Reform - Federal Reserve Bank of New York». 667. Staff Reports. Federal Reserve Bank of New York. [https://www.newyorkfed.org/research/staff\\_reports/sr667.html](https://www.newyorkfed.org/research/staff_reports/sr667.html).
- Hull, John 2012. *Risk Management and Financial Institutions*. 3 edition. Hoboken, N.J: Wiley.
- Hull, John, y Alan D White. 1998. «Value at Risk When Daily Changes in Market Variables Are Not Normally Distributed». *The Journal of Derivatives* 5 (3): 9-19. doi:10.3905/jod.1998.407998.
- Hull, John, y Alan White. 2012. «CVA and Wrong-Way Risk». SSRN Scholarly Paper ID 2151507. Rochester, NY: Social Science Research Network. <http://papers.ssrn.com/abstract=2151507>.
- . 2014. «Collateral and credit issues in derivatives pricing». *Jorunal of Credit Risk* 10 (3): 3-28.
- IOSCO. 2014. «Securities markets risk outlook 2014-2015». [http://asianbondsonline.adb.org/publications/external/2014/iosco\\_securities\\_markets\\_risk\\_outlook\\_2014\\_2015\\_oct\\_2014.pdf](http://asianbondsonline.adb.org/publications/external/2014/iosco_securities_markets_risk_outlook_2014_2015_oct_2014.pdf).
- Irwin, Neil. 2014. *The Alchemists: Three Central Bankers and a World on Fire*. Penguin Group.
- Jarrow, Robert, y Philip Protter. 2004. «A Short History of Stochastic Integration and Mathematical Finance: The Early Years, 1880–1970». En *Institute of Mathematical Statistics Lecture Notes - Monograph Series*, 75-91. Beachwood, Ohio, USA: Institute of Mathematical Statistics. <http://projecteuclid.org/euclid.Inms/1196285381>.
- Jorion, Philippe. 2007. *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*. 3.<sup>a</sup>ed. New York: McGraw-Hill.
- Kaiser, Thomas, y Petra Merl. 2014. *Reputational Risk Management in Financial Institutions*. London: Risk Books.
- Kirkpatrick, Grant. 2009. «The corporate governance lessons from the financial crisis». *OECD Journal: Financial Market Trends* 1 (3): 61-87. doi:10.1787/19952872.
- Kupiec, Paul H. 1995. «Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models». *The Journal of Derivatives* 3 (2): 73-84. doi:10.3905/jod.1995.407942.
- Lee, Cheng-Few, y Jung-Bin Su. 2012. «Alternative Statistical Distributions for Estimating Value-at-Risk: Theory and Evidence». *Review of Quantitative Finance and Accounting* 39 (3): 309-31. doi:10.1007/s11156-011-0256-x.
- Lewis, Michael. 2011. *The Big Short: Inside the Doomsday Machine*. Reprint edition. New York: W. W. Norton & Company.
- López, Jose A. 2005. «Stress Tests: Useful Complements to Financial Risk Models». FRBSF Economic Letter. <http://www.frbsf.org/economic-research/publications/economic-letter/2005/june/stress-tests-useful-complements-to-financial-risk-models/>.
- Lordon, Frédéric. 2009. *El porqué de las crisis financieras y como evitarlas*. Madrid: La Catarata.
- Malinvaud, Edmond. 1967. *Métodos estadísticos de la econometría*. Barcelona: Ariel.
- Malloch, Theodore Roosevelt, y Jordan D. Mamorsky. 2013. *The End of Ethics and A Way Back: How To Fix A Fundamentally Broken Global Financial System*. John Wiley & Sons.



- Manganelli, Simone, y Robert Engle. 2011. «Value at Risk Models in Finance». Working Paper 75. European Central Bank Working Paper Series.  
<https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwp/ ECBWP075.pdf?759ddbfc3896a33f9555f23aeeb8a675>.
- Merton, Robert. 1974. «On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rate». *Journal of Finance* 29 (2): 449-69.
- Mina, Jorge, y Jerry Xiao. 2001. «Return to RiskMetrics: The Evolution of a Standard». RiskMetrics Group.  
[http://www.wu.ac.at/pmg/banking/sbwl/lvs\\_ws/vk4/rrmfinal.pdf](http://www.wu.ac.at/pmg/banking/sbwl/lvs_ws/vk4/rrmfinal.pdf).
- Morini, Massimo. 2011. *Understanding and Managing Model Risk: A Practical Guide for Quants, Traders and Validators*. 1 edition. Hoboken: Wiley.
- NCCFEC. 2011. *The Financial Crisis Inquiry Report, Authorized Edition: Final Report of the National Commission on the Causes of the Financial and Economic Crisis in the United States*. 1 edition. New York, NY: PublicAffairs. <http://fcic.law.stanford.edu/report>.
- Pafka, Szilard, y Imre Kondor. 2001. «Evaluating the RiskMetrics Methodology in Measuring Volatility and Value-at-Risk in Financial Markets». *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 299 (1-2): 305-10. doi:10.1016/S0378-4371(01)00310-7.
- Palazuelos, Enrique. 1998. *La globalización financiera: la internacionalización del capital financiero a finales del siglo XX*. <http://www.casadellibro.com/libro-la-globalizacion-financiera-la-internacionalizacion-del-capital-financiero-a-finales-del-siglo-xx/9788477386070/621982>.
- Panitch, Leo, y Sam Gindin. 2015. *La construcción del capitalismo global. La economía política del imperio estadounidense*. Edición: 1. Akal.
- Pérignon, Christophe, Zi Yin Deng, y Zhi Jun Wang. 2008. «Do banks overstate their Value-at-Risk?» *Journal of Banking & Finance* 32 (5): 783-94. doi:10.1016/j.jbankfin.2007.05.014.
- Pérignon, Christophe, y Daniel R. Smith. 2010. «The level and quality of Value-at-Risk disclosure by commercial banks». *Journal of Banking & Finance* 34 (2): 362-77. doi:10.1016/j.jbankfin.2009.08.009.
- Pykhtin, Michael V. 2009. «Modelling credit exposure for collateralized counterparties». *Journal of Credit Risk* 5 (4).
- Quittard-Pinon, François, y Thierry Rolando. 2000. *La Gestion du risque de taux d'intérêt*. Economica.
- Reinhart, Carmen M., y Kenneth Rogoff. 2011. *This Time Is Different: Eight Centuries of Financial Folly*. Edición: Reprint. Princeton: Princeton University Press.
- Ridley, Kirstin, y Huw Jones. 2012. «A Greek banker, the Shah and the birth of Libor». *Reuters*, octubre 7. <http://www.reuters.com/article/us-banking-libor-change-idUSBRE87702320120808>.
- Riskmetrics Group. 1996. «1996 RiskMetrics Technical Document». [http://www.msci.com/resources/research\\_papers/technical\\_doc/1996\\_riskmetrics\\_technical\\_document.html](http://www.msci.com/resources/research_papers/technical_doc/1996_riskmetrics_technical_document.html).
- Rowe, David. 2013. «Risk Management Beyond VaR». En . Atlanta;Georgia. [https://www.frbatlanta.org/documents/news/conferences/13fmc\\_rowe.pdf](https://www.frbatlanta.org/documents/news/conferences/13fmc_rowe.pdf).

- Roy, Indrajir. 2011. «Estimating Value at Risk Using Filtered Historical Simulation in the Indian Capital Market». *Reserve Banks of India Occasional Papers*. [http://rbidocs.rbi.org.in/rdocs/Content/PDFs/OCIEVR261012\\_A3.pdf](http://rbidocs.rbi.org.in/rdocs/Content/PDFs/OCIEVR261012_A3.pdf).
- Ruozzi, Roberto, y Pierpaolo Ferrari. 2012. *Liquidity Risk Management in Banks: Economic and Regulatory Issues*. Springer.
- SEC. 2004. *Alternative Net Capital Requirements for Broker-Dealers That Are Part of Consolidated Supervised Entities*; Rel. No. 34-49830, June 8, 2004. <https://www.sec.gov/rules/final/34-49830.htm>.
- Smith, Roy C., y Ingo Walter. 2003. *Global Banking*. Oxford University Press, USA.
- So, Mike K. P., y Philip L. H. Yu. 2006. «Empirical analysis of GARCH models in value at risk estimation». *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money* 16 (2): 180-97. doi:10.1016/j.intfin.2005.02.001.
- Sollis, Robert. 2009. «Value at Risk: A Critical Overview». *Journal of Financial Regulation and Compliance* 17 (4): 398-414. doi:http://0-dx.doi.org/cisne.sim.ucm.es/10.1108/13581980911004370.
- Soprano, Aldo, Bert Crielgaard, Fabio Piacenza, y Daniele Ruspantini. 2009. *Measuring Operational and Reputational Risk: A Practitioners Approach*. Edición: 1. Chichester, England ; Hoboken, NJ: John Wiley and Sons Ltd.
- SSG. 2008. «Observations on Risk Management Practices during the Recent Market Turbulence».
- Swary, Izthak, y Barry Topf. 1993. *La Desregulacion Financiera Global*. Fondo de Cultura Económica. <http://www.abebooks.co.uk/book-search/title/la-desregulacion-financiera-global/author/swary/>.
- Taleb, Nassim Nicholas. 2010. «Why did the Crisis of 2008 Happen?» SSRN Scholarly Paper ID 1666042. Rochester, NY: Social Science Research Network. <http://papers.ssrn.com/abstract=1666042>.
- Tarullo, Daniel K. 2008. *Banking on Basel: The Future of International Financial Regulation*. 1.<sup>a</sup>ed. Washington, DC: Peterson Institute.
- The Economist. 2012. «The rotten heart of finance». *The Economist*, julio. <http://www.economist.com/node/21558281>.
- Triana, Pablo. 2011. *The Number That Killed Us: A Story of Modern Banking, Flawed Mathematics, and a Big Financial Crisis*. 1 edition. Hoboken, N.J: Wiley.
- Trujillo del Valle, José A. 2011. «La titulización de activos». 42. Mecanismos de prevención y gestión de futuras crisis bancarias. Madrid: Fundación de Estudios Financieros. <http://www.fef.es/new/publicaciones/papeles-de-la-fundacion/item/158-42-mecanismos-de-prevenci%C3%B3n-y-gesti%C3%B3n-de-futuras-crisis-bancarias.html>.
- Tsay, Ruey. 2010. *Analysis of Financial Time Series*. 3.<sup>a</sup>ed. <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-EHEP002380.html>.
- Turner. 2015. *Between Debt and the Devil: Money, Credit, and Fixing Global Finance*. Princeton University Press.
- Turner, A. 2009. «The Turner Review: A Regulatory Response to the Global Banking Crisis». Londres: Financial Services Authority. [http://www.fsa.gov.uk/pubs/other/turner\\_review.pdf](http://www.fsa.gov.uk/pubs/other/turner_review.pdf).
- UBS. 2008. «Shareholder Report on UBS's Write-Downs». Zurich: UBS. <http://maths-fi.com/ubs-shareholder-report.pdf>.

- . 2010. «Transparency Report to the Shareholders of UBS AG». Zurich: UBS AG.  
[http://www.ubs.com/global/en/about\\_ubs/transparencyreport.html](http://www.ubs.com/global/en/about_ubs/transparencyreport.html).
- Vilariño, Ángel. 2001. *Turbulencias financieras y riesgos de mercado*. Madrid: Prentice Hall.
- . 2011a. «Análisis de los modelos generalmente aceptados para la estimación del valor razonable de los instrumentos financieros en condiciones normales y de estrés». Tesis inédita, Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- . 2011b. «La crisis financiera: orígenes y desencadenantes». En *Economía política de la crisis*, 17-39. Madrid: Editorial Complutense.
- Vilariño, Ángel, Jorge Pérez, y Fernando García. 2008. *Derivados. Valor razonable, riesgos y contabilidad. Teoría y casos prácticos*. Pearson Educación. Madrid.
- Vilariño, Ángel, David Trillo, y Nuria Alonso. 2010. «Los errores de las agencias de calificación y la propuesta de regulación bancaria del Comité de Basilea». En *Actas XII Reunión de Economía Mundial*. Santiago de Compostela.  
<http://www.usc.es/congresos/xiirem/pdf/63.pdf>.
- Zumbach, Gilles. 2006. «Backtesting risk methodologies from one day to one year». *Jorurnal of Risk* 9 (2): 55-91.